



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

서핑보드의 국산화 제작을 위한 모델링 기법 및 특성 해석

Modeling and Analysis Techniques of Domestic Surfing Boards
Manufacturing



한국해양대학교 대학원

기 계 공 학 과

김 지 훈

本 論文을 金志勳의 工學碩士 學位論文으로 認准함

위원장: 공학박사 이 영 호



위 원: 공학박사 정 형 호



위 원: 공학박사 정 재 현



2010년 12월 27일

한국해양대학교 대학원

기 계 공 학 과

김 지 훈

목 차

Abstract

List of figures and tables

제 1 장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	2
제 2 장 이론적 배경	4
2.1 서핑보드 이론적 배경	4
2.1.1 서핑의 정의	4
2.1.2 서핑보드의 분류	4
2.1.3 서핑보드의 구성 요소	6
2.2 서핑보드 성능 요소	12
2.2.1 속도 성능	12
2.2.2 복원 성능	12
2.2.3 선회 성능	13
2.2.4 내향 성능	13
제 3 장 서핑보드의 형상 설계	14
3.1 서핑보드의 선형 특성 및 모델링	14
3.1.1 서핑보드의 상부형상 특성	15
3.1.2 서핑보드의 측면형상 특성	15
3.1.3 서핑보드의 단면형상 특성	15
3.1.4 3차원 서핑보드 모델링	16
3.2 핀 형상 특성 및 모델링	21
3.2.1 핀 형상 특성	21
3.2.2 3차원 핀 모델링	23
3.3 Assembly 모델링	27

제 4 장 서핑보드의 수치해석	28
4.1 수치해석	28
4.1.1 수치해석 기법	28
4.1.2 이산화방법	29
4.2 보드면의 하중에 따른 응력 및 안전율해석	33
4.2.1 응력 및 안전율 정의	33
4.2.2 격자 생성 및 해석조건	33
4.2.3 결과 및 고찰	36
4.3 보드면의 각도 및 파도 유속 따른 유동 해석	42
4.3.1 해석 목적 및 격자 생성	42
4.3.2 경계조건 및 계산조건	44
4.3.3 결과 및 고찰	46
제 5 장 결론	59
참고문헌	60



Modeling and Analysis Techniques of Domestic Surfing Boards Manufacturing

KIM JI HOON

***Department of Mechanical Engineering
Graduate School of Korea Maritime University***

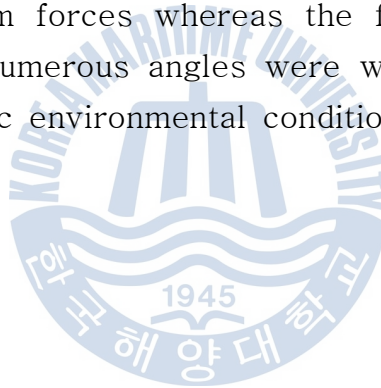
Abstract

With the rising cost of manufacturing in the developed world, companies are increasingly looking for lower cost to manufacture. Surfing board manufacturing at the lower end of the scale is low tech, labour intensive, environmentally friendly and crucially, low cost and easy to start up. This makes it an ideal industry that has abundance for labour and high-tech manufacturing machines, giving rise to a developing industry in Korea.

Most surfboards are built one at a time in small surfboard shops. Although techniques and materials vary from one surfboard builder to another but most surfboards have been individually designed and hand crafted by talented surfboard builders. Over the last four decades, boards have gotten shorter, then longer, then shorter again. One fin was followed by two fins, then three fins, as builders tried different designs to improve the board's ability to perform maneuvers. Some board builders used channels cut lengthwise along the bottom to improve stability. The increasing cost of sea freight due the strength of global trade is another factor encouraging new manufacturers as considerable savings in cost and delivery time can be made by manufacturing regionally.

In this paper, the localization of a surfboard as the early stages development of surfing board using 3D CAD systems to perform design evaluation and configuration. The environmental conditions of the surf board and the user's physical condition are the most vital factors to consider when designing a surf board. Therefore, the improvement of surfboard design modifications is predictable.

The surf board is modeled using Unigraphics and modified accordingly to optimize time to resolve design integration and development of surfboard. Structural and fluid dynamics at various angles of surfboard shape characteristics was studied using commercial CFD (Computational Fluid dynamics) code, ANSYS CFX. Structural strength stability of the surface board was analysed to maximum forces whereas the fluid dynamic analysis were performed at numerous angles were with close proximity to real sea and domestic environmental conditions.



List of figures and tables

Figures

Fig. 2.1 Hard rail and soft rail shape	6
Fig. 2.2 Fin installation specification	11
Fig. 3.1 Definition of the shape of surfing board	14
Fig. 3.2 Surfing board dimensions	17
Fig. 3.3 Sectional point plot of the surfing board	17
Fig. 3.4 Spline through the points to develop curvature	18
Fig. 3.5 Development of surfing board curve from sectional curvature	18
Fig. 3.6 Surface modeling for each part of surfing board	19
Fig. 3.7 Surface modeling of surfing board	19
Fig. 3.8 Solid model of surfing board	20
Fig. 3.9 Fin dimensions type1	21
Fig. 3.10 Fin dimensions type2	22
Fig. 3.11 Fin dimensions type3	22
Fig. 3.12 Sectional point plot of the fin	24
Fig. 3.13 Spline through the points to develop curvature	24
Fig. 3.14 Development of fin curve from sectional curvature ...	25
Fig. 3.15 Surface modeling for each part of fin	25
Fig. 3.16 Surface modeling of fin	26
Fig. 3.17 Solid model of fin	26
Fig. 3.18 Fin location schematics on the surfing board	27
Fig. 3.19 Assembly model of surfing board	27
Fig. 4.1 Mesh arrangement and terminology for dual mesh	32
Fig. 4.2 Computational mesh domain of the surfing board	34
Fig. 4.3 Boundary conditions for the computational domain of the deck surface	35
Fig. 4.4 Boundary conditions for the computational domain of the nose surface	35

Fig. 4.5 Safety factor of the deck surface	36
Fig. 4.6 Stress of the deck surface	38
Fig. 4.7 Safety factor of the nose surface	39
Fig. 4.8 Stress of the nose surface	40
Fig. 4.9 Performance analysis of the deck safety factor	41
Fig. 4.10 Performance analysis of the nose safety factor	41
Fig. 4.11 Computational mesh domain of the surfacing board	43
Fig. 4.12 Boundary conditions for the computational domain of the surfing board	45
Fig. 4.13 Velocity contour of surfing board at different angles	48
Fig. 4.14 Pressure contour of surfing board at different angles	49
Fig. 4.15 Velocity contour distribution around the surfing board	51
Fig. 4.16 Pressure contour distribution around the surfing board caused by drive pressure	53
Fig. 4.17 Velocity contour distribution at the back and front of the surf board respectively	58

Tables

Table 2.1 Types of surfing board	5
Table 2.2 Shape of concave	8
Table 2.3 Kinds of tail	10



제 1 장 서론

1.1 연구배경

국내의 산업 기술의 혁신을 통해서 기계화, 자동화의 영향으로 노동시간이 단축되면서 상대적으로 여가시간이 늘어나게 되었다. 재발견하려는 의미의 여가생활과 레저가 발달되고 있으며 생활목표를 여가활동을 통한 삶의 질을 향상시키는데 중점을 두는 경향이 있다. 또한 가족중심의 가치관 형성으로 가족단위의 여가활동 및 여행수요 증대의 보편화가 나타나고 있다. 여가 시간의 증가로 인해 자연을 직접 체험하면서 즐기려는 역동적 해양스포츠 및 레저가 젊은 세대 중심으로 활발하게 움직이고 있는 경향이 있다. 그러나 현재 해양레저의 스포츠 장비들은 보급, 생산이 상당히 미비하며 대부분을 수입에 의존하고 있다.^[1]

이러한 해양레저의 장비들은 향후 새로운 산업 분야로 발전될 수 있으며 해양레저의 관련시설의 정비와 환경을 조성하여 대중성을 높여 해양레저 활성화를 적극 추진해 나아갈 필요성이 있다. 해양레저 및 스포츠는 우리나라에서 시작단계에 불과하지만 우리나라는 국토의 3면이 바다이며 빼어난 경치를 감상할 수 있는 조건을 갖추고 있기 때문에 잠재성은 다른 산업에 비교하여 매우 높은 산업이 될 것이다. 해양레저 산업 및 새로운 해양 관련 산업분야를 미래의 핵심 산업으로 발전시키고 해양스포츠 및 해양 레저 장비의 국산화를 통하여 국민 다수가 안전하게 이용할 수 있는 해양레저 인프라를 구축하는 것이 중요하다.^[2]

서핑보드의 경우는 다른 해양 레저 장비에 비해 장비의 크기가 작고 운송이 편리하고 가격적인 면에서 비교적 저렴하기 때문에 향후 해수욕장에서 튜브 대신에 서핑보드를 이용한 물놀이를 즐기는 인구가 늘어날 것으로 예상된다. 서핑을 즐기기 위해서는 서핑보드의 구입이 선행되어야 한다. 하지만 국내의 서핑보드는 대부분 외국에서 수입하는 경우가 대부분이며 국내에서 제작하는 경우는 동호회를 중심으로 개인적으로 서핑보드를 제작하고 있다.^[3]

본 논문에서는 국내 해양 레저 활동 인구의 확산을 대비하여 해양 레저 장비를 직접 생산하고자 하는 업체 혹은 서핑보드를 전문적으로 이용

하는 선수들을 위해서 서핑보드 제작 방법의 어려움을 해소하고 효율적인 선형 설계 및 대량 생산을 위한 기초 설계에 관하여 연구하였다.

1.2 연구목적

현재 외국의 경우를 살펴보면 서핑보드 제작은 서핑보드 장비시장이 확대됨에 따라 생산량이 크게 증가하여 대량생산 기술이 정립되었고 일반인들에게 취미 활동으로 자리 잡으면서 서핑보드 설계에서 제작소재에 이르기까지 폭발적으로 보급되었고 이와 함께 보드설계의 일반화는 다양한 형상을 가진 제품개발의 기회가 됨으로써 현재 생산중인 보드의 설계 기술에 크게 기여하였다. 생산 기술면에서는 초기 수작업에 의한 제작기술에서 대량생산의 체계가 마련되었으나 복합재료 적층공정과 도장 등 수작업에 의존하는 공정의 비중이 여전히 높아 수제품 보드 제작기술과 공통점이 많다.^[4]

서핑보드는 보드와 핀으로 구성되어 있으며, 보드와 핀의 크기는 계속 줄어들고 있는 형상으로 발전되고 있다. 서핑보드는 보드의 크기, 핀의 개수 및 제작 방법에 따라서 구분하며 서핑보드의 종류도 매우 다양하다. 보드의 크기에 따라 롱 보드와 쇼트 보드로 구분되며 핀의 개수는 보통 1~5개까지 다양하게 장착되며 제작 방법은 주문 제작하는 커스텀 방식과 대량 생산하는 프로덕트 방식으로 구분한다. 외국의 경우 전문 서퍼들을 중심으로 커스텀 방식의 제작을 선호하며, 대중적인 서핑보드는 프로덕트 방식으로 제작하고 있다.^[5]

사용자가 서핑보드를 선택할 때 자신의 능력이나 신체조건 및 서핑을 즐길 장소의 파도조건 등을 고려해야 한다. 하지만 현재 국내에 사용되는 서핑보드의 대부분이 수입에 의존하고 있기 때문에 국내 이용자들의 구체적인 조건이나 환경은 고려되지 못한 서핑보드를 이용하여 서핑을 하고 있다. 서핑은 단순히 여가나 취미로 즐기는 경우도 있지만 전문적인 선수로서 서핑을 하는 수요가 경우도 있다. 그 수요는 꾸준히 증가될 것으로 예상된다.^{[6][7]}

본 논문에서는 서핑보드의 국산화 개발의 초기단계로써 3D CAD시스템을 이용하여 개념 및 형상설계를 수행한다. 서핑보드의 경우 환경조건

및 서퍼의 신체조건을 고려하여 설계해야 한다. 따라서 서핑보드의 형상에 따른 설계수정이 불가피하다. Unigraphics를 이용하여 서핑보드를 설계할 경우 수정에 따른 시간적 문제를 해소하고 최적화된 서핑보드 설계 및 개발을 위한 연구를 수행하였다.

서핑보드 면의 각도 변화에 따른 형상특성을 검증하기 위한 방법으로 CFD(Computational Fluid dynamics)를 이용하여, 서핑보드 설계 및 제작에 이론적으로 뒷받침하고자 한다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 서핑보드의 이론적 배경

2.1.1 서핑의 정의

서핑이란 ‘기본적으로 파도를 잡고 보드 위에서 그 파도를 타는 것’이다. 서퍼가 서핑보드를 이용하여 부서지는 파도에 의해 해변방향으로 이동하는 수상 스포츠이다. 서퍼가 물속에서 보드 위에 배를 맞대고 엎드린 자세에서 팔을 이용하여 노를 저어 앞으로 나간다. 이것을 패들링이라고 한다. 파도 물결이 다가오면 서퍼는 보드위에 올라서서 부서지는 파도를 따라 미끄러지듯 서핑을 하며, 체중을 이동시켜 방향을 조정한다.

2.1.2 서핑보드의 분류

서핑에는 바디보드와 바디서핑 등을 포함하여 많은 종류가 있다. 따라서 라이딩 방법이나 기술도 다양하다. 서핑보드 이외에도 니 보드, 바디 보드, 카약, 서핑 스키, 웨이브 스키, 서핑 매트 등의 기구를 이용한 서핑도 가능하다.

서핑보드의 종류는 다양하고 복잡할 정도로 많다. 서핑보드의 종류는 길이, 폭, 부피 등을 기준으로 구분하기 때문이다. 서핑보드는 크게 롱 보드와 쇼트 보드로 구분하며 그 기준으로 길이가 3m 이상이면 롱 보드이고 그 이하이면 쇼트 보드이다. 롱 보드와 쇼트 보드에 속하는 다양한 종류의 보드는 다음 Table 2.1 과 같이 분류한다.

길이에 따른 서핑보드의 분류에 따른 특징을 살펴보면 롱 보드의 경우는 부력이 뛰어나며 패들링이 쉽기 때문에 파도를 쉽게 잡을 수 있는 장점이 있지만 초보자의 경우 큰 보드를 컨트롤하기 어렵다는 단점이 있다. 반대로 쇼트 보드의 경우는 롱 보드에 비해 종류가 다양하다. 그 특징으로는 작은 파도에서 파도의 힘을 최대한 많이 이끌어내어 빠른 속도를 만들어 다양한 퍼포먼스를 보여 줄 수 있다.^[7]

Table 2.1 Types of surfing board

Surfing board	Long board	Racing long board
		Recreational ling board
		Beginner board
	Short board	Wave board
		Freestyle board
		Convertible board
		Freeride board
		Super X board
		Race board
		Formila board
		Kid board

2.1.3 서핑보드의 구성 요소

서핑보드는 크게 쇼트 보드와 롱 보드로 구분하며 3m를 기준으로 3m 이상이면 롱 보드이고 3m 이하이면 쇼트 보드이다. 서핑보드를 구성하는 요소는 보드와 핀으로 구분된다. 서핑보드 면의 형상 구성은 노즈(Nose), 레일(Rail), 데크(Deck), 테일(Tail), 로커(Rocker)로 구분한다.
[10]

1) 노즈

보드의 제일 앞면을 말하며 쇼트 보드와 같은 경우에는 앞이 뾰족한 노즈가 대세이고 롱 보드의 경우에는 앞이 둥근 노즈가 주로 쓰인다. 뾰족한 노즈는 사고의 원인이 되기도 하는데 이를 방지하기 위해서 노즈 가드를 한다.

2) 레일

서핑보드 옆의 가장자리를 말하며 Fig. 2.1과 같이 하드 레일과 소프트 레일로 나누어진다. 하드 레일은 안정성에서는 떨어지는 반면에 모서리를 활용한 테일 턴을 가능하게 하여 다양한 턴 기술을 용이하게 해주는 효과를 발휘하며 쇼트 보드에 많이 쓰인다. 반면에 소프트 레일은 레일에 모서리가 없고 거의 부드러운 곡선형을 띄고 있는 것이 특징이다. 이 레일은 보통 롱 보드에 많이 쓰이며 라이딩의 안정성을 높여주는 대신 턴이 날카롭게 되지 못하는 단점이 있다.

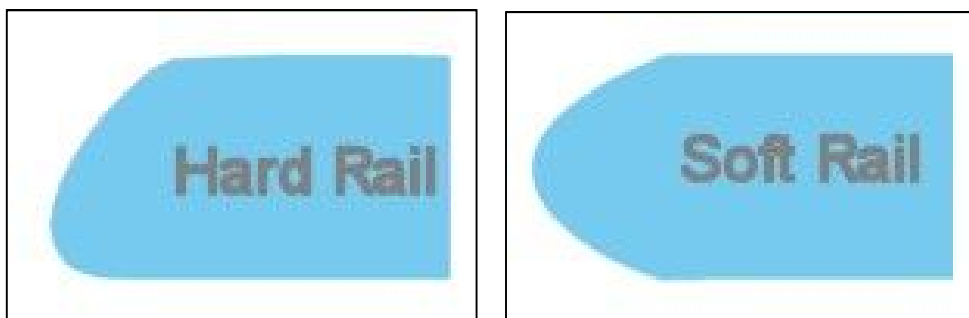


Fig. 2.1 Hard rail and soft rail shape

3) 데크

보드의 윗면을 말하며 서퍼가 일어서기도 하고 엎드려 패들을 하는 부분이다. 왁스나 패드를 이용해 미끄럼을 방지하는 장치도 하는데 요즘에는 앞은 왁스를 하고 뒤에는 패드를 사용한다. 다른 부위와 달리 특별한 디자인은 없이 보통 돔 형태의 데크가 많이 쓰인다. 가운데 부위가 가장 높고 옆쪽이 약간 낮은 돔 형태의 디자인이고 턴을 할 때 편의성을 높인다.

4) 로커

보드 바닥부터 테일까지 서핑보드가 세로로 휘는 각도나 곡선을 말하며 보드의 테이크오프, 패들, 라이딩 등 많은 영향을 준다. 휘는 각도가 작아 평면에 가까우면 소프트 로커라고 하며, 패들링 속도가 빨라지지만 테이크 오프를 할 때 앞 노즈가 각도가 작아 물에 침수되어 테이크 오프를 실패하는 경우가 생길 수 있다.

하지만 라이딩 시에는 파도의 힘이 적은 평평한 부분을 통과함에 있어 유리한 점이 있다. 반대로 휘는 각도가 큰 하드 로커는 프로서퍼들이 선호하는 디자인으로 하이 퍼포먼스 서핑에 유리하다. 패들링은 불리하지만 낮은 테이크 오프를 성공시킬 확률도 높아지고 날카로운 턴을 만들기 위해 용이한 디자인이다.

5) 콘케이브


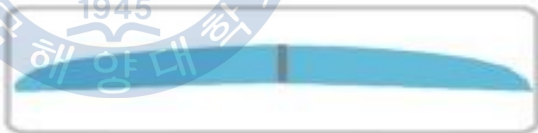
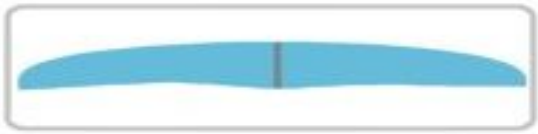

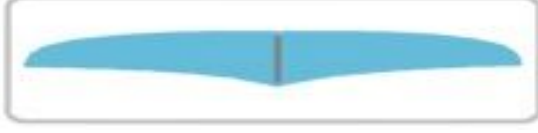
콘케이브는 보드 바닥의 가로 방향의 휘어짐을 말한다. 바닥으로 흐르는 물의 흐름을 조절하는 기능을 하며 보드의 속도를 증가 및 턴을 용이하게 하는 등의 특성을 가지고 있다.

플레이트 바텀은 바닥에 콘케이브가 없는 평평한 디자인이다. 보통 모든 보드에 무난하게 적용되며 특히 체중이 많이 나가는 서퍼들에게 좋은 디자인이다. 싱글 콘케이브는 가운데 스트린저가 가장 움푹하게 들어간 형태로 빠른 속도를 내기 위해 만들어진 디자인이다. 빠르고 깨끗한 파도에서는 큰 장점을 나타내지만 파도가 깨끗하지 않은 상태에서는 좋지

얇은 디자인이라고 할 수 있다. 더블 콘케이브는 요즘 가장 대중적인 디자인이다. 하지만 보드 전체가 더블 콘케이브만으로 되어 있는 보드는 드물다고 볼 수 있다. 거의 항상 싱글 콘케이브와 같이 사용되는데 보드의 앞쪽 노즈 부분에서 싱글로 시작해서 중간 정도에는 더블로 바뀌는 형태로 디자인 되는 것이 일반적인 형태이다. 이 디자인은 느리고 작은 파도에서 스피드를 높일 수 있고 턴을 가능하게 만들어준다.

채널은 최근에는 찾아보기 힘든 디자인으로 스피드를 내기 위한 형태이고 정말 깨끗한 파도에서만 장점을 보여주는 디자인이다. 빈 레일을 이용한 턴을 만드는데 도움을 주는 디자인이다. 보통 테일 가까운 부위에만 쓰이는데 롱 보드나 소수의 피쉬 또는 큰 파도를 타는 보드에서 많이 쓰이는 형태이다. Table 2.2은 콘케이브 형상이다.

Table 2.2 Shape of concave

Title	Design
Flat bottom	
Single concave	
Double concave	
Channels	
Vee	

6) 테일

보드의 뒤 제일 끝을 말하며 서핑 보드의 가장 큰 영향을 주는 곳인데 턴에 특히 큰 영향을 주며 종류도 다양하다.

라운드 스쿼시 테일은 가장 보편화된 디자인이다. 라이딩의 안정성과 날카로운 턴을 한꺼번에 잡을 수 있는 디자인으로 대부분의 서핑 보드에 사용 될 수 있고 작은 파도부터 헤드를 넘어가는 큰 파도까지 탈 수 있다. 스쿼시 테일은 가장 대중적인 디자인으로 양쪽에 날카로운 모서리가 있는 것이 특징이며 턴을 도와주는 기능을 한다. 현재는 많이 사용되지 않는 디자인이다.

썸 테일은 스쿼시 테일보다 더 곡선에 가까운 디자인이고 모서리가 없어짐에 따라서 날카로운 턴을 기대하기는 어렵지만 라이딩의 안정성이 우수해진다. 이 테일을 사용하게 되면 테일의 수면에 잠수되는 면을 이용하여 일반적인 스타일의 큰 턴을 하는데 용이하다.

라운드 핀 테일은 썸 테일과 비슷하지만 볼륨이 살짝 줄어든 형태이다. 예전에 싱글 핀이 대세였을 때 유행하던 디자인이고 성향은 썸 테일과 아주 유사하다. 중간 크기 이상의 파도에 유리하고 특히 파도가 거칠고 빠른 환경에 적합하다.

핀 테일은 썸 테일과 라운드 핀 테일의 익스트림 버전이다. 파도가 크고 베럴이 생기는 날 튜브 라이딩에 중점을 둔 디자인으로 하와이나 인도네시아에서 파도가 큰 날 서퍼들이 타는 보드의 대부분이 이런 형태의 테일을 갖고 있다. 베이비 스왈로 테일은 스쿼어 테일과 핀 테일을 합쳐놓은 디자인으로 파도가 높을 때 적합하다.












스왈로 테일은 베이비 스왈로 테일에 볼륨을 조금 더해준 디자인인데 테일을 이용한 턴을 할 때 가장 유리한 디자인이다. 여러 가지 기술을 시도하기에 매우 용이하며 피쉬에 많이 이용되는 작은 파도용의 테일 디자인이다. 뱃 테일은 스왈로 테일과 비슷한 특성을 보여주나 가운데 피켓 포인트가 하나 더 생김으로써 안정성까지 극대화한 디자인이다. 최근 가장 유행하는 디자인이기도 하다.

윙은 많이 사람들이 테일 디자인으로 오해하기 쉽다. 하지만 이는 테일 디자인에 포함된다. 스왈로 테일에 옆에 모서리가 하나 더 붙은 디자인

인으로써 턴을 도와주는 기능이 있다 피쉬에 많이 쓰이는 디자인이다.

결론적으로 테일의 종류를 조사해본 결과 대체적으로 테일의 모서리가 있으면 파도에 대한 저항을 만들어 턴을 용이하게 하며 반대로 곡선이 주요 요소가 되는 디자인은 라이딩의 안정성을 높여준다.

Table 2.3 Kinds of tail

Title	Design	Title	Design
Round squash tail		Baby swallow tail	
Square tail		Swallow tail	
Square tail		Swallow tail	
Thumb tail		Bat tail	
Rounded pin tail		Wing	
Pin tail			

7) 핀

보드의 전반적인 수행은 핀의 정확한 위치에 큰 영향을 받는다. 핀의 개수가 2~3개의 경우는 물을 감싸는 정도에 따라 훌륭한 결과를 도출한다. 보드의 길이는 핀의 위치에 따라 결정되며 핀의 개수가 1개인 것은 6.5~10.5인치이고 2개인 경우에는 9.5~12인치이다. 핀의 개수가 3개인 경우는 10.5~12.5인치이다. 옆으로는 2.75~3.75인치이다.

핀은 보드의 반응 즉 움직임에 직접적으로 영향을 주는 구성요소이다. 따라서 핀은 자신의 보드, 파도의 상태, 라이딩 스타일에 따라 알맞은 선택을 할 때 자신의 최고 라이딩과 실력 향상에 많은 도움을 준다.

핀의 크기는 베이트, 레이크, 하이트에 의해 결정된다. 베이스는 핀을 보드에 고정시켰을 때 보드에 닿는 직선거리는 나타내며, 레이크는 핀이 뒤로 휘어진 정도를 나타내며, 하이트는 핀의 높이 즉 수직 길이를 나타낸다. 베이트가 길수록 전진성이 뛰어나며 레이크가 많이 휘어질수록 회전성이 높아지며, 하이트가 높을수록 안정성이 뛰어나다.

예를 들면 큰 베이스와 높은 하이트의 핀은 안정성과 직진성이 뛰어나기 때문에 롱 보드나 큰 파도를 탈 때 많이 사용하며 베이스와 하이트가 짧고 레이크의 휘어진 정도가 크면 작은 파도에서도 퍼포먼스의 수준을 높일 수 있다.^{[7][8]}

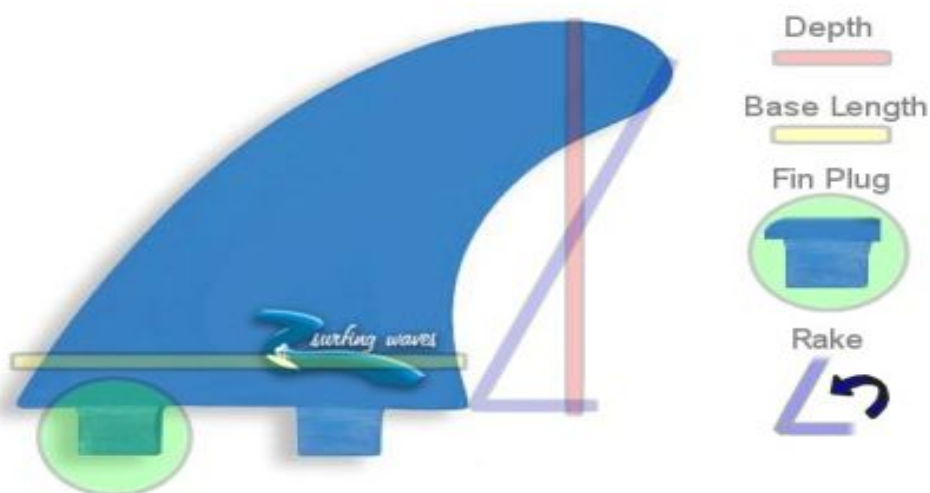


Fig. 2.2 Fin installation specification

2.2 서핑보드 성능 요소

서핑의 성능을 결정하는 인자로는 보드와 핀의 형상이다. 서핑의 성능은 간단하게 말하면 파도를 빠르고 안전하게 탈 수 있는 보드이다. 서핑의 성능은 속도 성능, 복원 성능, 선회 성능, 내향 성능이 있다. 서핑보드 설계 시에 4가지 성능을 고려하여 형상을 설계해야 한다.

2.2.1 속도 성능

속도는 다른 성능 가운데 가장 중요한 성능이다. 속도 성능이 좋으면 더욱 빠르게 파도를 넘을 수 있다. 속도를 많이 내기 위해서는 보드의 형상이 물로부터 저항을 적게 받아야 한다. 저항이란 보드가 앞으로 나아가려고 할 때 나아가려는 힘이 물에 의해 감소되는 것을 의미한다.

2.2.2 복원 성능

복원성능은 보드를 처음 물에 띄우고 서퍼가 올라서서 뒤집어 지지 않는 안정적인 상태로 돌아가려는 성능이다. 즉 보드를 어느 정도 좌우로 흔들거나 앞뒤로 흔들어도 넘어지지 않는 정도를 나타낸다. 보드를 좌우로 흔드는 것을 롤링이라고 하고 앞뒤로 흔드는 것을 피칭이라고 한다. 이는 선박의 움직임을 역학적으로 다루는데 사용되는 용어이다.

서핑보드의 경우는 서퍼가 중심을 잡으려는 노력에 의해 뒤집어지지 않는다. 그래서 서핑보드의 복원 성능은 공학적으로 계산을 하기에는 어려움이 있다. 하지만 중요한 점은 서퍼가 중심을 잡는 노력을 적게 하여도 잘 뒤집어지지 않게 할 수 있다는 것이다.

즉 폭이 넓은 보드는 잘 넘어지지 않을 것이다. 한편 앞뒤로 흔들리는 것은 보드의 길이가 폭에 비해 길기 때문에 폭에 비해 중요한 요소는 아니다. 실제 서핑보드를 타보면 좌우로 넘어지는 경우는 많아도 앞뒤로 넘어지는 경우는 적다.^[9]

2.2.3 선회 성능

선회 성능은 서핑보드가 앞으로 달리면서 회전할 때 잘 파도를 이용하여 돌아가는 것을 말한다. 즉 선회성능이 떨어지면 직진은 잘되지만 보드의 방향을 바꿀 때 잘 돌아가지 않는다. 이는 보드의 길이가 길면 길수록 회전이 어려워지고 짧으면 잘 돌아가는 특성이 있다.

2.2.4 내향 성능

내향 성능은 수면 위로 보드가 나아가면서 파도에 의해 많은 영향을 받는다. 파도의 영향을 줄이는 방법은 파도를 넘어가는 것을 능파라고 하고 파도를 뚫고 지나가는 것을 웨이브 피어싱이라고 한다. 이는 보드의 노즈 설계와 관련이 있다.^[10]



제 3 장 서핑보드의 형상 설계

3.1 서핑보드의 선형 특성 및 모델링

서핑보드 형상은 Fig. 3.1과 같이 상부, 측면, 단면 등으로 구분된다. 상부 형상은 보드를 위에서 내려다본 형상으로 전체 길이를 기준으로 3등분하여 앞쪽을 노즈, 중앙을 미들, 뒤쪽을 테일이라 한다. 그리고 폭은 최대 폭을 의미하며, 전후 팁에서 약 30cm 떨어진 위치의 폭을 노즐 폭, 테일 폭이라 한다. 폭, 노즈 폭, 테일 폭의 위치와 크기는 보드의 전체적인 형상을 결정하는 중요한 변수이다.

측면 형상은 대체적으로 버텀이 테일쪽으로 갈수록 평평한 평편하며, 이들 부근을 시작으로 노즐 팁까지 자연스럽게 굽어지는데 능파성을 고려한 형상이다. 이를 로커라 하며 노즐 팁에서 최대값을 가진다. 단면 형상은 길이 방향으로 수직인 절단면을 의미하며, 모든 부위에서 다른 형상을 갖는 것이 특징이다. 본 연구에서 설계할 서핑보드의 형상 및 제원은 Fig. 3.2와 같다.

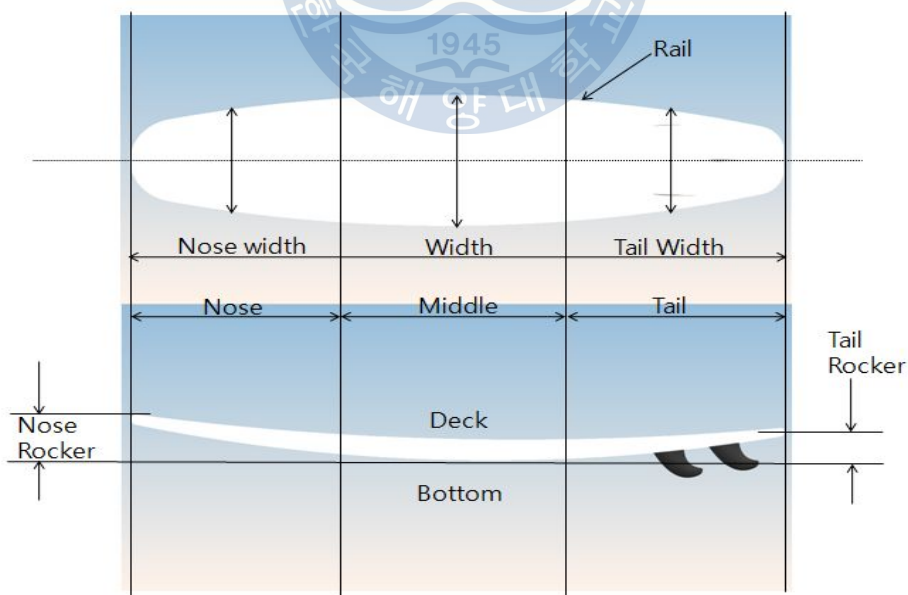


Fig. 3.1 Definition of the shape of surfing board

3.1.1 서핑보드의 상부형상 특성

상부 형상은 보드의 성능과 용도를 결정하는 핵심 형상으로 설계 시 가장 먼저 결정되어야 한다. 길이와 폭은 보드의 대략적인 형상을 결정하며, 노즈와 테일 폭은 각 부위의 세부 형상을 결정하는 인자이다. 그리고 폭의 위치는 레일의 형상을 결정한다.

설계 시 보드는 용도에 따라 분류함으로써 단순히 재원을 토대로 보드를 명확하게 분류하는 것은 한계가 있다. 특히 최근 5년간 재원변화 추세를 분석한 결과 폭과 길이의 비는 크게 변화가 적이나, 길이와 폭이 지속적으로 감소하는 소형화되고 있는 추세이다.

3.1.2 서핑보드의 측면형상 특성

보드 측면 형상은 버텀의 커브인 로커와 각 지점별 높이인 두께로 정의된다. 보드 측면 형상의 특이점은 테일 팁 부근에서 급격한 두께 변화를 보이는데 이는 테일에 핀을 정착하기 위한 핀 박스가 보드 내부에 삽입되기 때문이다. 그리고 노즈로 갈수록 두께는 얇아지며, 노즈 팁 부근에서는 곡면으로 마무리되어 충돌 시 파손을 줄일 수 있도록 한다.

측면 형상의 정의는 보드의 전체적인 부피에 큰 영향을 주는 요소이지만 두께를 증가시킬 경우 보드 전체적인 중량도 함께 증가함으로 재질을 고려하여 선정하는 것이 일반적이다.

한편 로커의 크기는 해상에서 능파성을 고려하여 통상 25~30cm 정도의 크기를 갖는 것이 일반적이거나 일부 내수용의 경우 20cm 이하를 취하는 경우도 있다

3.1.3 서핑보드의 단면형상 특성

보드 단면 형상은 상부 형상이 결정된 후 보드의 미세한 성능을 조절할 수 있는 형상이다. 그간 보드의 단면 형상을 통해 성능 향상을 달성하고자 많은 노력이 있었으며, 최근에는 거의 대다수 단면에 대한 특성이 규명되었다. 단면 가운데 최근에 주로 사용하고 있는 단면

은 슬라이틀리 라운드, 브이, 플레이트, 콘케이브 등이며, 이들을 적절히 조합하여 자연스럽게 이어지도록 설계하고 있다.^[11]

예를 들어 노즈는 능과와 쇄과를 고려하여 슬라이틀리 라운드로 하고 미들은 활주 시에 수면과 접하는 부위임으로 과를 잘 가를 수 있도록 브이로 하거나 활주에 주안점을 두어 플레이트를 적용한다. 그리고 테일은 활주에 직접적인 영향을 받기 때문에 플레이트로 설계한다. 또한 롤링에 대한 안전성을 증가시키고 회 전 시에 보드가 미끄러지는 현상을 줄이고 자 콘케이브로 설계하기도 한다.^[12]

3.1.4 3차원 서핑보드 모델링

서핑보드 3차원 형상 설계 과정은 다음과 같은 과정을 진행한다. 먼저 서핑보드의 특성을 Fig. 3.2와 같이 정의한다. 먼저 서핑보드의 전체 길이에 대한 가상면을 생성한다. 서핑보드의 중심을 기준으로 5개의 면을 생성한다.

Fig. 3.3과 같이 단면에 계산된 포인트를 20~30개 정도 생성한 다음 Fig. 3.4와 같이 스플라인 명령으로 구속을 주어 곡률을 제어한다. 서핑보드 단면의 수정이 필요할 경우 포인트를 변수로 하면 쉽게 설계 수정이 가능하다. Fig. 3.5와 같이 단면들을 스플라인으로 구속하여 전체적인 단면의 곡률을 제어한다. 서핑보드 형상 커브가 완성되면, Surface 명령 중 스루 커브 메쉬를 사용하여 Fig. 3.6~Fig. 3.7과 같이 곡면을 생성한다. 마지막으로 Sew명령으로 Fig. 3.8과 같은 솔리드 모델링을 생성한다.

위와 같은 설계 과정으로 서핑보드의 형상 모델링 할 경우 서퍼에 따른 형상 수정 및 설계가 용이하다.^{[13][14]}

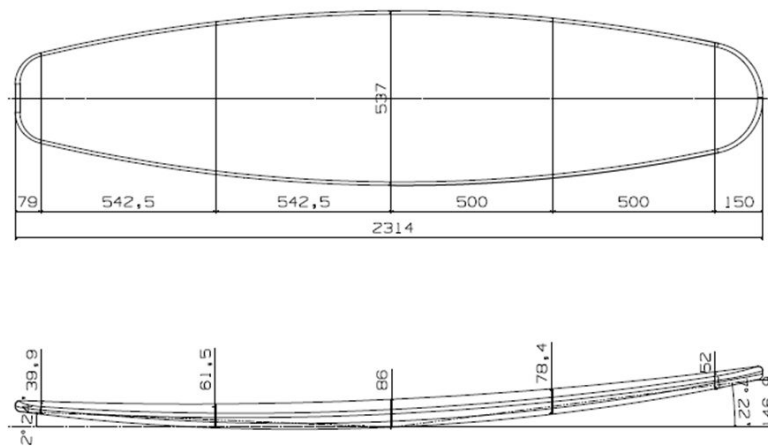


Fig. 3.2 Surfing board dimensions

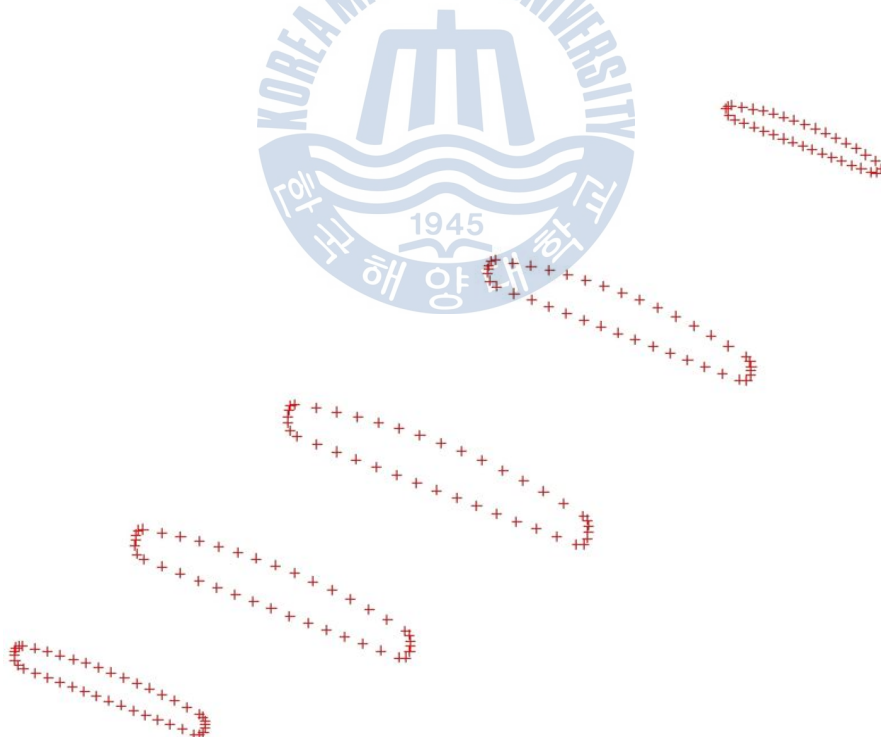


Fig. 3.3 Sectional point plot of the surfing board

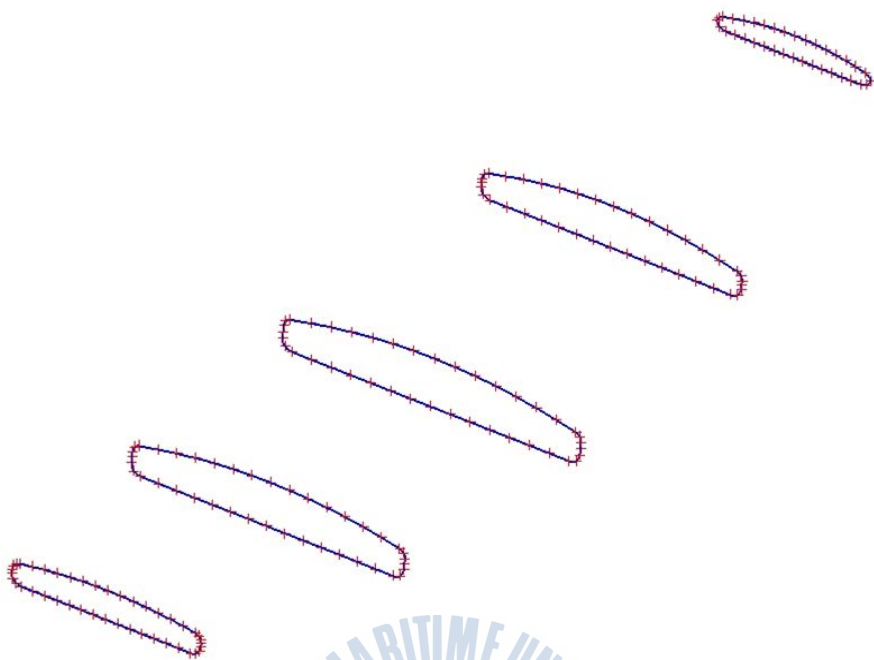


Fig. 3.4 Spline through the points to develop curvature

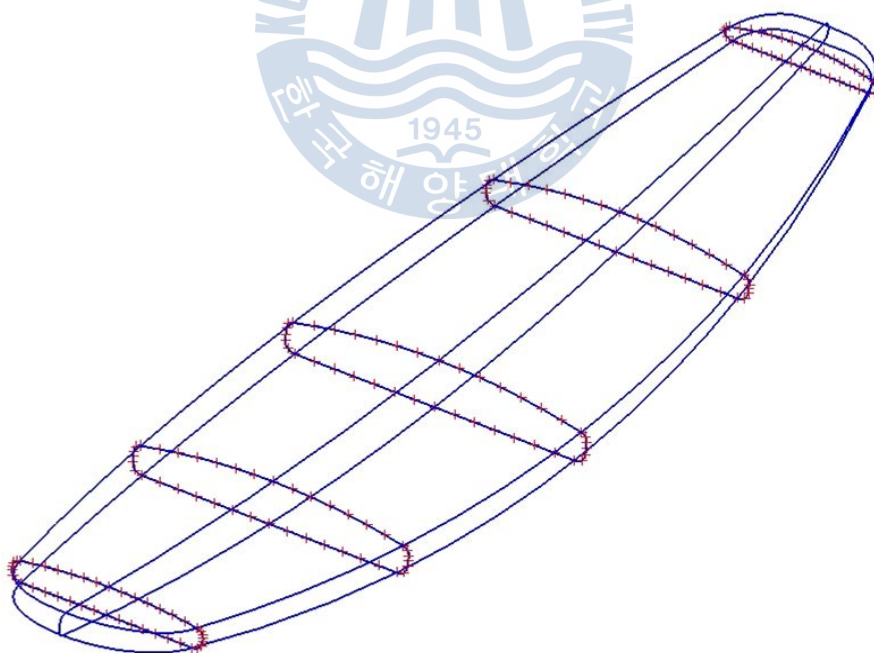


Fig. 3.5 Development of surfing board curve from sectional curvature

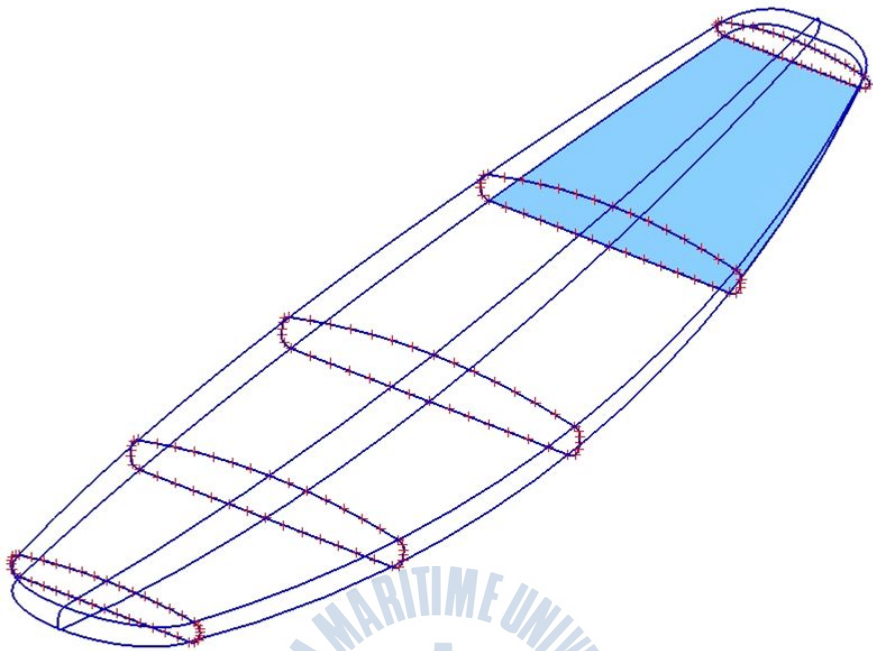


Fig. 3.6 Surface modeling for each part of surfing board

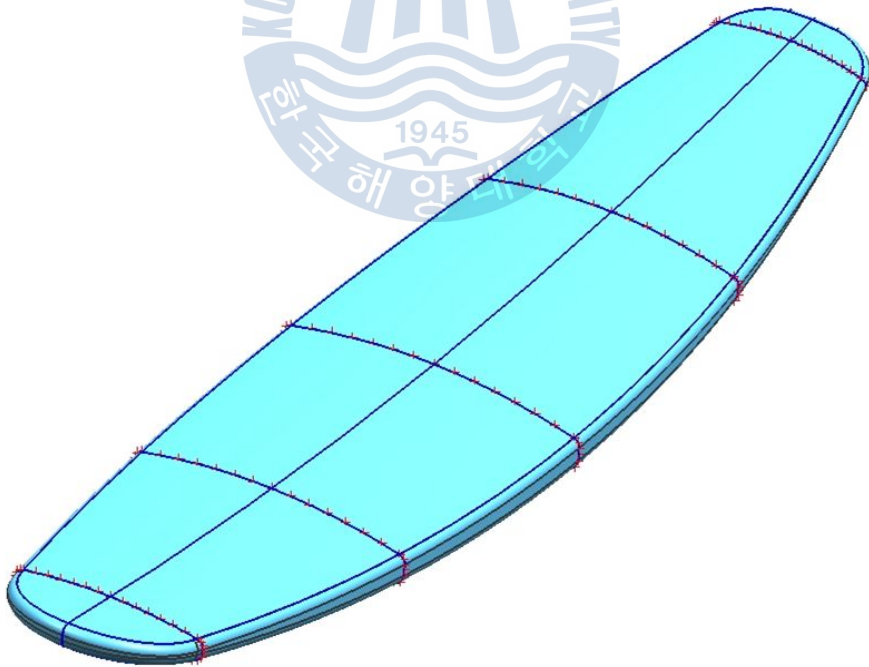


Fig. 3.7 Surface modeling of surfing board



Fig. 3.8 Solid model of surfing board

3.2 핀 형상 특성 및 모델링

3.2.1 핀 형상 특성

핀은 보드의 반응 즉 움직임에 직접적으로 영향을 주는 요소이다. 따라서 자신의 보드, 파도의 상태, 라이딩 스타일에 따라 알맞은 선택을 할 때 자신의 최고 라이딩과 실력 향상에 영향을 미친다.

베이스는 핀을 보드에 고정시켰을 때 보드에 닿는 직선거리로 길수록 진진성이 뛰어나다. 레이크는 핀이 뒤로 휘어진 정도이며 많이 휘어질수록 회전성이 높아진다. 하이트는 핀의 높이를 나타내며 높을수록 안정성이 뛰어나다. 현재 많이 상용화 되어 있는 핀 시스템은 대표적인으로 FCS와 FUTURE가 있으며 FCS의 경우 일반적으로 두 개의 나사로 고정시키며 FUTURE의 경우는 한 개의 나사로 고정시킨다. 작은 핀 모델일수록 작은 파도에서 퍼포먼스가 좋고 회전성이 좋으며 큰 모델일수록 큰 파도나 롱 보드 등 안정성을 추구할 때 사용하는 것이 적합하다. Fig. 3.9~Fig. 3.11은 설계된 핀의 형상 및 제원이다.

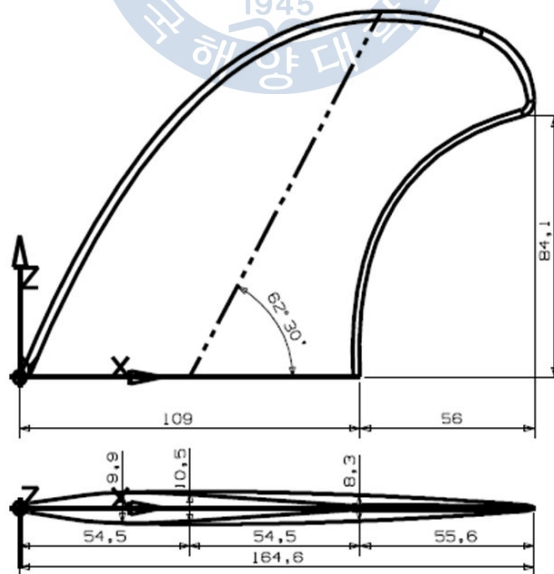


Fig. 3.9 Fin dimensions type1

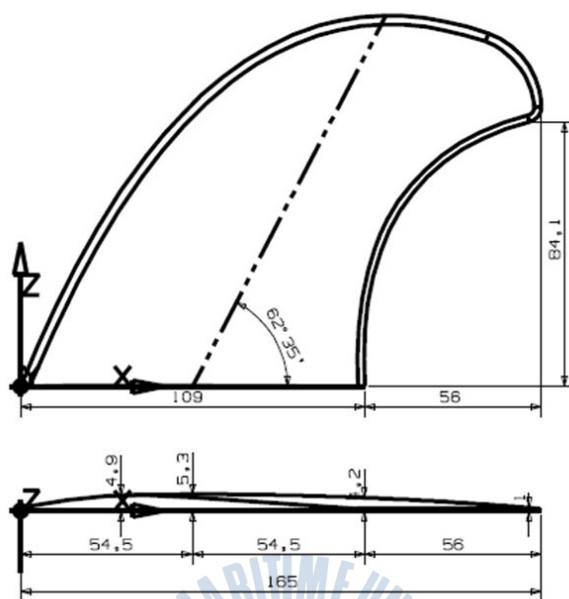


Fig. 3.10 Fin dimensions type2

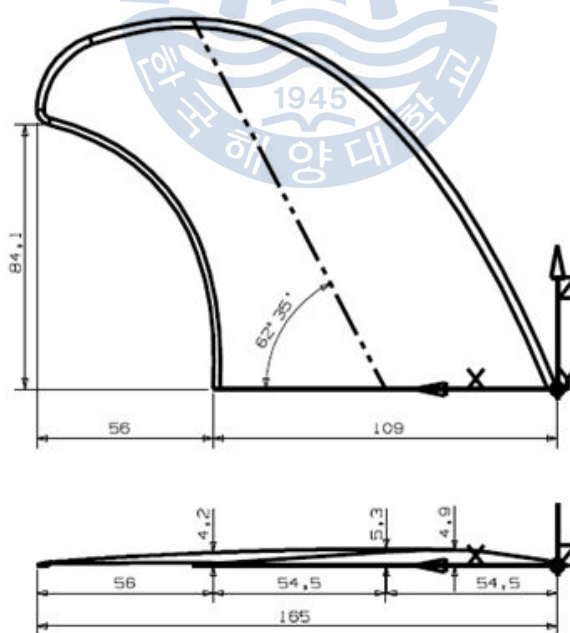


Fig. 3.11 Fin dimensions type3

3.2.2 3차원 핀 모델링

핀 3차원 형상설계 과정은 다음과 같은 과정을 진행한다. 먼저 핀의 특성을 Fig. 3.9~Fig. 3.11과 같이 정의한다. 먼저 핀의 전체 길이에 대한 가상면을 생성한다.

핀을 설계하기 위해서는 6개의 면으로 생성한다. Fig. 3.12와 같이 단면에 계산된 포인트를 20~30개 정도 생성한 다음 Fig. 3.13와 같이 스플라인 명령으로 구속을 주어 곡률을 제어한다. 핀 단면의 수정이 필요할 경우 포인트를 변수로 하면 쉽게 설계 수정이 가능하다. Fig. 3.14와 같이 단면들을 스플라인으로 구속하여 전체적인 단면의 곡률을 제어한다.

핀 형상 커브가 완성되면, 서페이스 명령 중 스루 메시 커브를 사용하여 Fig. 3.15~Fig. 3.16과 같이 곡면을 생성한다. 마지막으로 소우명령으로 Fig. 3.17과 같은 솔리드 모델링을 생성한다.

위와 같은 설계 과정으로 핀의 형상 모델링 할 경우 서핑보드의 변수 및 서퍼의 능력에 맞는 핀 수치를 자유롭게 수정이 용이하다.



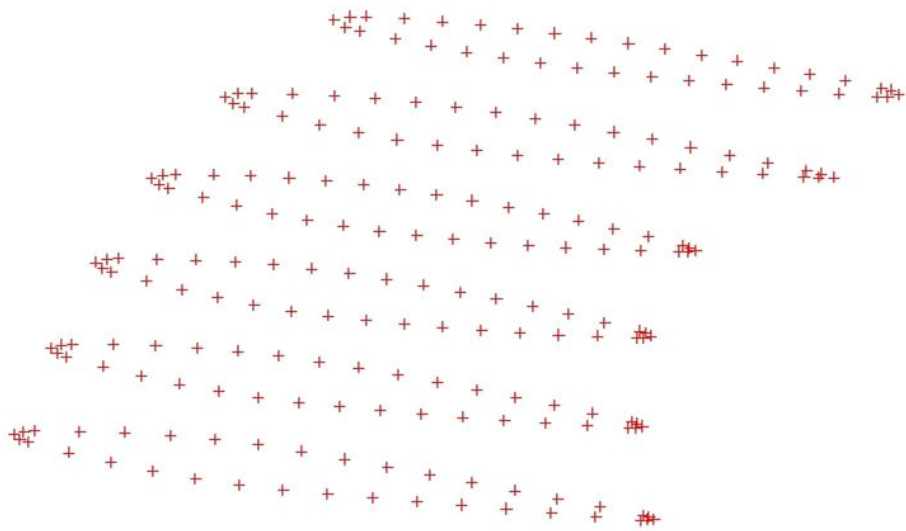


Fig. 3.12 Sectional point plot of the fin

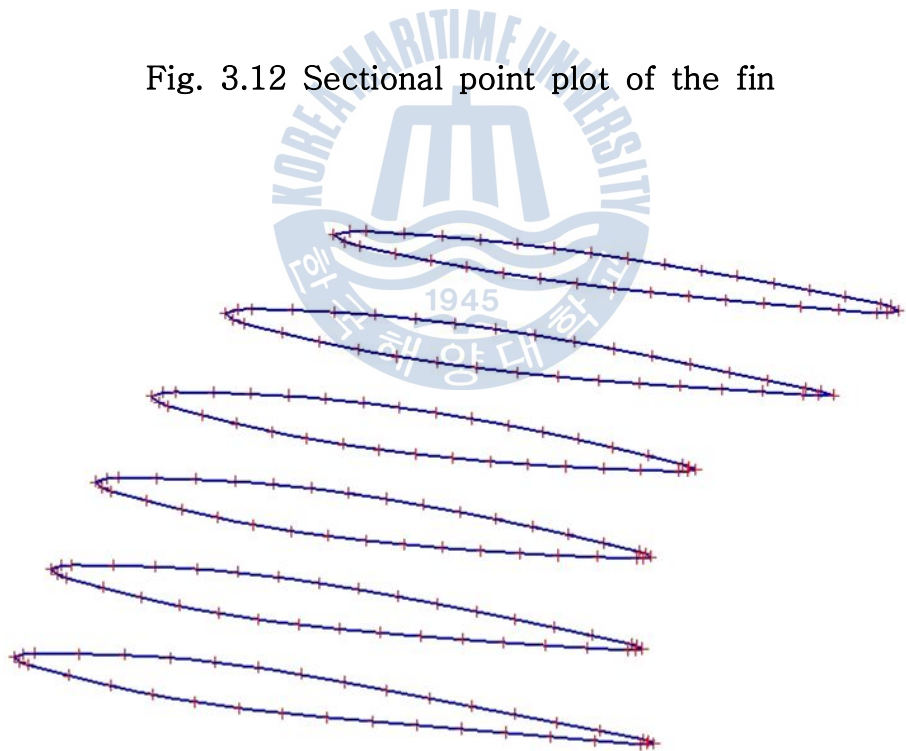


Fig. 3.13 Spline through the points to develop curvature

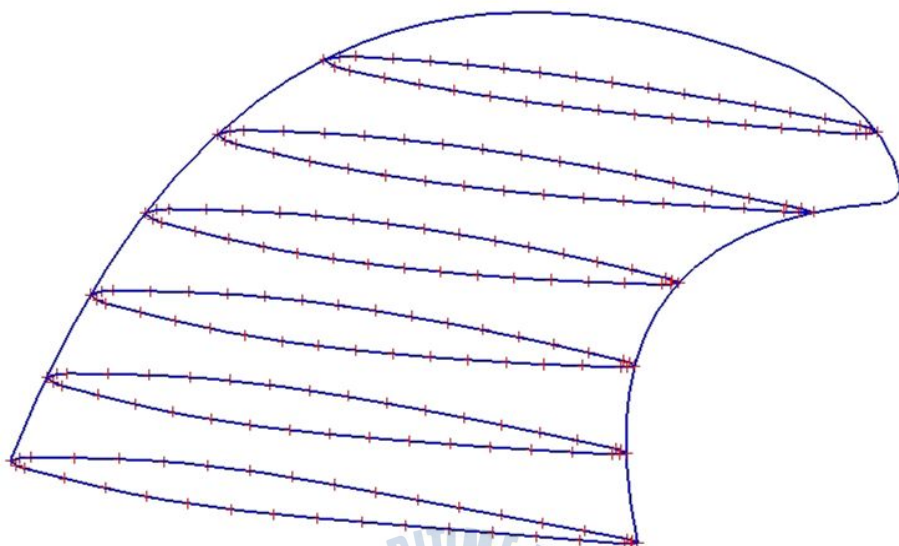


Fig. 3.14 Development of fin curve from sectional curvature

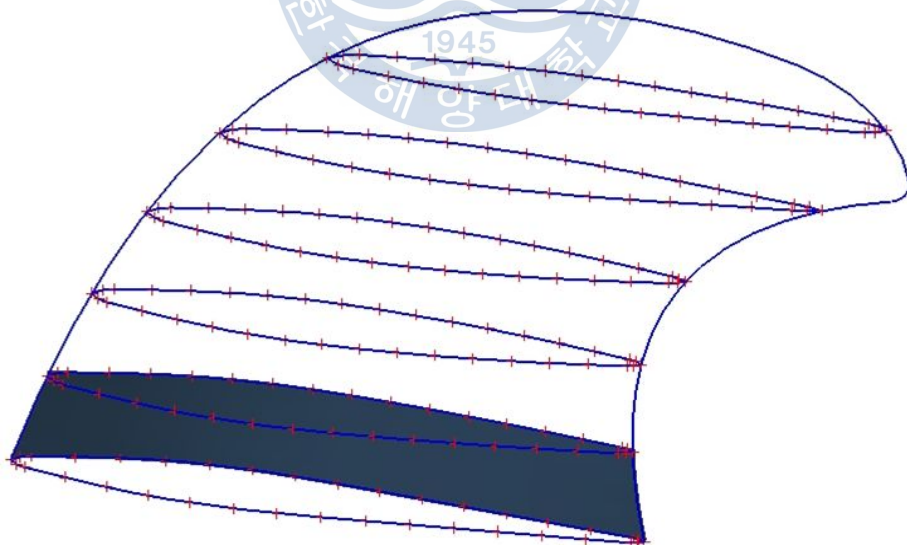


Fig. 3.15 Surface modeling for each part of fin

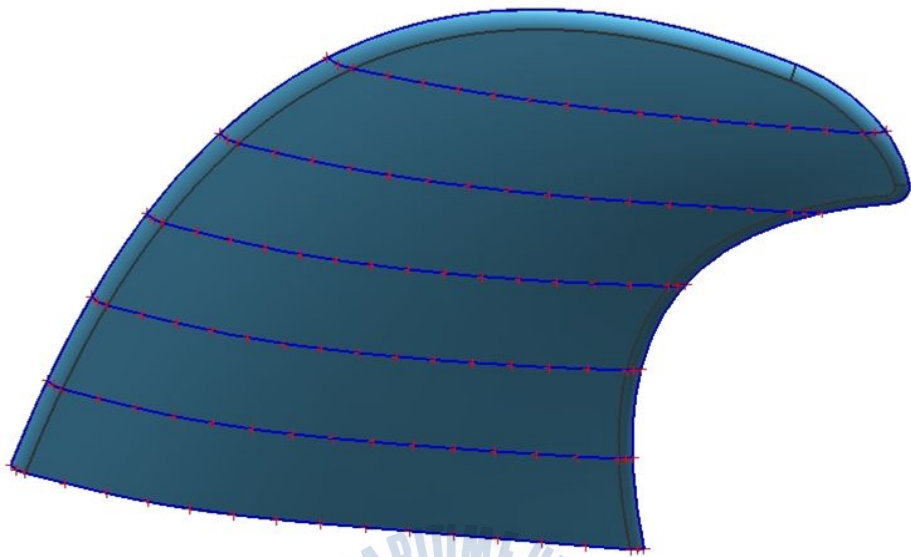


Fig. 3.16 Surface modeling of fin



Fig. 3.17 Solid model of fin

3.3 Assembly 모델링

Fig. 3.2와 Fig. 3.9~Fig. 3.11의 제원을 3차원 모델링을 생성하면, Fig. 3.8과 Fig. 3.17같이 솔리드 모델링이 생성된다. 서핑보드와 핀의 솔리드 모델링을 어셈블리 명령을 사용하면 조립이 가능하다.

파트별 조립 시뮬레이션을 수행하여 제작 시에 정확한 조립이 가능하다. Fig. 3.18은 서핑보드에 장착될 핀의 위치를 나타낸 것이며, Fig. 3.19~Fig. 3.20은 조립 형상을 나타낸 것이다.

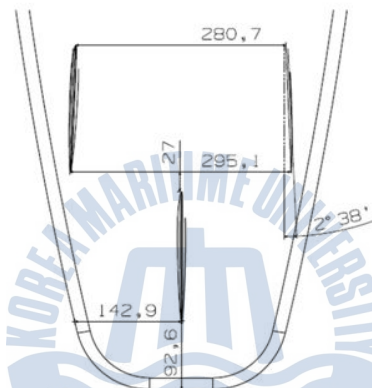


Fig. 3.18 Fin location schematics on the surfing board

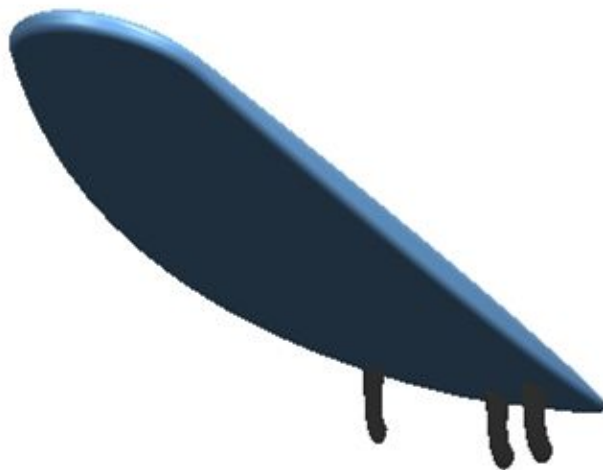


Fig. 3.19 Assembly model of surfing board

제 4 장 서핑보드의 수치해석

4.1 수치해석

4.1.1 수치해석 기법

본 연구에서는 유체기계 해석에 우수한 성능을 보이는 상용 CFD코드인 CFX-11.1을 사용하였다.

일반적으로 범용의 상용코드들은 SIMPLE 또는 SIMPLEC, Rhie and Chow 방법과 같은 압력에 기초한 방정식으로부터 만들어져 있다. 이들 압력에 기초한 코드들은 일반적으로 다양한 물리적 모델들과 경계조건을 제공하고 다른 CAE 도구들과 연동을 포함하는 복잡한 물리적 문제 등에 적용될 수 있다.

유체기계의 정확한 해석을 위해서는 점성저층영역을 안정적으로 처리할 수 있는 최적화된 난류모델들이 필요하다. 현재 상용코드에서 오랫동안 적용되어온 $k-\epsilon$ 모델과 벽 함수의 조합은 유체기계에서 요구되는 높은 해의 정밀도를 만족시킬 수 없다. 보다 정확한 해를 구하기 위해 점성저층에 대한 해석이 요구되고, 이를 만족시키기 위해서는 벽면근처에 종횡비가 매우 큰, 높은 격자 밀집도의 확보가 요구된다. 이러한 요구조건을 만족하는 CFX-11의 수치기법의 핵심은 질량과 운동량 방정식의 연동화이다. CFX-11.1은 압력기반 유한 체적법을 fully implicit 이산화하여 얻어지는 방정식을 algebraic multigrid coupled solver를 이용하여 해석한다. SIMPLE 등 고전적인 segregated 접근방법에 비해 implicit coupling 방법은 수렴을 가속시키고, 압축성 유동에 있어서 수렴성의 난점을 피할 수 있고, 높은 종횡비의 격자를 다룰 수 있는 장점을 갖는다.

유체기계에서 난류모델의 적용에 있어 아주 간단한 난류모델도 충분한 정확도를 제공한다는 입장과 해석 정확도의 확보를 위해서는 가장 최신의 난류모델과 천이 모델을 사용해야 한다는 견해가 있다.

이러한 견해의 차이는 엔지니어가 해석하는 유체기계들이 서로 다르고 요구되는 정밀도에 대한 만족범위가 다르기 때문이다.

많은 경우, 특히 유체기계의 설계점 영역에서는 점성과 난류효과는 단지 전체 손실에 미소한 추가적인 기여를 하며, 이러한 유동장에서는 난류모델이나 천이모델의 정밀도가 상대적으로 중요하지 않다. 그러나, 1-방정식 모델이나, 2-방정식 모델은 계산시간을 크게 증가시키지 않으므로, 해석의 일관성을 위해 적절히 사용하는 것이 좋다.

일반적인 유동에서 다루는 방정식은 질량, 운동량, 에너지 방정식이고, 각각 식(4.1), 식(4.2), 식(4.3)과 같이 구할 수 있다.

$$\rho = \rho(P, T) \quad (4.1)$$

$$\mu = \mu(P, T) \quad (4.2)$$

$$\tau_{ij} = \tau_{ij}(P, T) \quad (4.3)$$

여기서, ρ : 밀도, u_i : 속도, P : 압력, μ : 점성계수

H : 전엔탈피, h : 정적엔탈피, T : 온도

τ_{ij} : 응력텐서

상태방정식 $\rho = \rho(P, T)$, 점성계수와 변형률의 함수로서 응력텐서의 응력 변형률 관계, 그리고, $h = h(P, T)$ 가 이들 방정식에 추가된다. 난류유동은 와 점성이 추가되고 방정식은 레이놀즈 평균 물리량에 대해 쓴다. 방정식의 일반적인 형태는 동일하다.

4.1.2 이산화방법

CFX-11.1은 implicit pressure based 방법을 사용하며, 여기서 사용되는 주요 독립변수들은 (P, u_i, H) 이다. 일반적으로, 범용 상용코드는 위의 변수에 대해 해석을 수행하며, 이는 현장에서 일반적으로 부딪히는 비압축성 유동의 해석이 용이하기 때문이다.

Fig. 4.1에서 실선으로 나타난 것은 일반적으로 알려져 있는 격자 즉,

셀이다. 실선으로 나타낸 셀, 즉 요소를 다시 나누어 점선으로 표현된 sub-element를 구성하며 제어체적은 음영으로 나타낸 부분과 같이 노드를 둘러싼 sub-element 들로 구성되며 hex, tetra, wedge, pyramid 등 모든 element 형태에 대해 동일하게 적용된다. 모든 변수 값과 유체의 물성치는 이 노드에 저장된다.

수치해석의 정확도는 노드 값으로 표현되는 적분점들에서의 표면적분 값들의 정확도에 의해 결정된다. 계산을 통해 얻어진 해는 격자 노드에 저장되지만, 방정식의 대류항, 확산항, 압력구배항 등의 다양한 항들은 적분점에서의 해나 해의 구배 값을 필요로 하며 따라서, 요소 내부에서의 해의 변화를 계산하기 위해 finite element shape function이 사용된다. 이러한 방식을 FEM based FVM 혹은 element based FVM이라 한다. Fig.3.1과 같이 제어 체적면에서의 적분점의 개수가 2차원인 경우 일반적인 FVM의 4개에 비해 8개로 2배가 많은 것을 알 수 있다. 3D 육면체 격자의 경우 6개에서 24개로, 사면체의 경우 4개에서 평균 60개로 적분 점이 많아지므로 비교적 성긴 격자에 대해서도 해의 정확도가 뛰어난 장점이 있다.

식(4.1) ~ 식(4.3)의 방정식들을 제어체적에 걸쳐 적분함으로써 질량, 운동량, 그리고 에너지 방정식에 대한 이산화 적분식은 각각 식(4.4) ~ 식(4.6)과 같다.

$$(4.4)$$

$$(4.5)$$

$$(4.6)$$

여기서, $(\Delta n_j)_{ip}$ 는 적분점 위치에서 국부 표면 벡터이다. 그리고 제한체적의 적분점 표면을 통과하는 m_{ip} 는 질량유동이다. 모든 방정식들은 시간간격의 제한을 피하기 위하여 implicit하게 다루어지며, 비정상 항에는 1차와 2차 backward Euler 방정식이 사용된다. 확산항은 element

shape function의 미분형태로 각 적분점의 위치에서 구배계수를 계산함으로써 결정된다. 대류항은 Upwind, Quick 등 몇몇 기법에 의해 평가될 수 있으나, 기본 설정된 기법인 high-resolution 기법을 사용한다. High-resolution 기법은 대류항에 대한 2차 정확도의 upwind biased approach에 기초한 기법이며 Barth와 Jespersen에 의해 기술된 방법과 유사하고, 식(4.7)과 같다.

(4.7)

식(4.8)과 같이 divergence형태에서 모든 항들에 대해 질량 divergence 항은 표면적분의 형태로 변환된다.

(4.8)

밀도는 다른 대류 항처럼 표준 high resolution을 적용하여 계산되고, 식(4.9)와 같다.

(4.9)

이 upwind biased 평가는 운동량과 에너지 방정식의 다른 대류항과 마찬가지로 유동이 상당히 압축성이어도 안정적이며, 2차의 정확도를 가진다.

Implicit 방법에서 중요한 것은 p_u 의 선형화이다. 먼저 p_u 는 Newton-Raphson 선형화에 의해 결정되어 식(4.10)과 같다.

(4.10)

여기서 위첨자 n 은 새로운 값 (implicit)을 의미하고 0는 예전 (지연된 값) 시간레벨이다. 이러한 선형화는 전 영역에 걸친 마하수의 신뢰성 있는 수렴을 보장한다.

마지막으로, 식(4.11)과 같이 밀도에 대한 상태방정식은 압력의 함수로 구성된 ρ^n 의 implicit 표현을 얻기 위하여 차분되며 앞서 제공된 상태방정식에서 미분항 $\frac{a\rho}{aP}$ 를 계산한다.^[12]

(4.11)

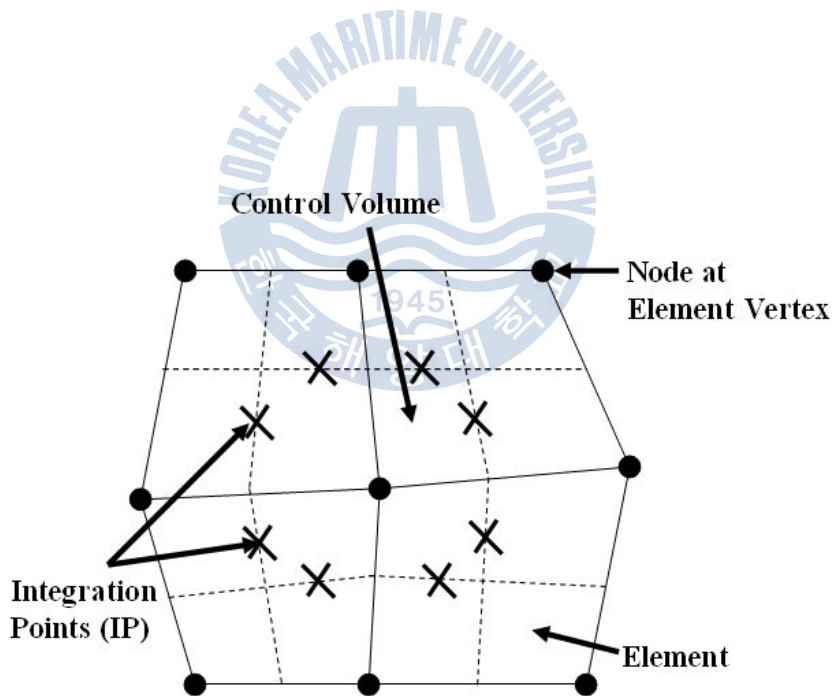


Fig. 4.1 Mesh arrangement and terminology for dual mesh

4.2 보드면의 하중에 따른 응력 및 안전율해석

4.2.1 응력 및 안전율 정의

물체에 외부에서 힘이 작용하면 물체는 변형한다. 단위면적당 작용하는 힘을 응력이라고 한다. 일반적으로 응력은 면에 비스듬히 작용하지만 이것을 면에 수직인 성분과 면에 평행한 성분으로 나누고 전자를 수직응력, 후자를 접선응력 또는 전단응력이라고 한다. 수직응력이 작용하는 면의 양측에서 서로 밀 때를 압력, 잡아당길 때를 장력이라고 한다.

실제의 기구에 있어서 운전사용 시에 작용하는 응력을 사용응력(σ_w)이라고 한다. 또한 설계의 집장에서 부재 내에 일정 기준까지의 응력은 허용되어야 한다고 정한 응력을 허용 응력(σ_a)이라고 한다. 한편 재료에 대해 어떤 의미로나 강도에 따른 손상을 준다고 인정되는 응력 한계(σ_s)를 기준강도라고 한다면 어떤 구조 부재가 강도에 따른 안전성을 확보 위해서는 $\sigma_w < \sigma_a < \sigma_s$ 가 되어야 한다. $\sigma_a = \sigma_s / S$ 또는 $S = \sigma_s / \sigma_a$ 로 정의되는 수치는 $S > 1$ 을 안전율이라고 하며, 이는 기준 강도를 기준으로 한 허용 응력선정에 대한 안전의 정도이다.

따라서 사용응력과 허용응력의 수치가 같이 될 수 있도록 설계된 구조물의 안전의 정도를 대표하는 것이 된다.

4.2.2 격자 생성 및 해석조건

일반적으로 데크 부분은 서퍼가 일어나기도 하도 옆드려 패들을 하는 부분이다. 해석에 있어서 서퍼의 위치는 서핑 중 지속적으로 변하기 때문에 서핑보드 전체의 안전율은 서퍼의 안전과 직결되어 있다.

본 해석은 서핑보드 데크부분의 서퍼의 무게에 의한 안전율과 노즈부분의 안전율을 구연하고자 해석을 수행하였다.

첫째, 데크 부분의 해석은 데크 부분에 980N, 1960N, 2940N, 4900N, 9800N으로 조건을 주었으며, Fig. 4.3와 같이 수직방향으로 중력조건을 고려하였다.

둘째, 노즈 부분의 해석은 Fig. 4.4와 같이 데크 부분은 980N으로 수치를 고정하였으며, 노브 부분은 2940N, 4900N으로 조건을 부여하였다.

해석의 신뢰성을 위하여 ANSYS Workbench 11.1 버전을 사용 하였으며, 격자는 Fig. 4.2와 같이 hexa 격자 100,000 노드로 격자 밀도를 동일하게 구현 하였다.

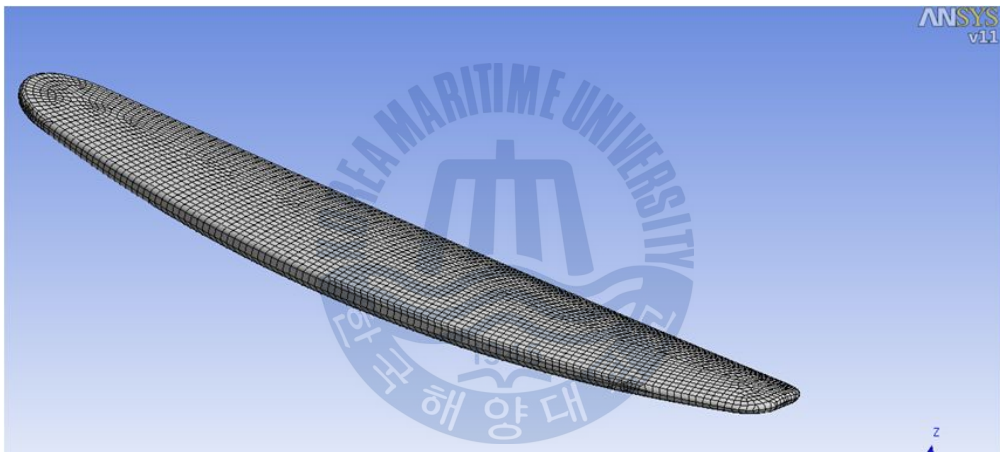


Fig. 4.2 Computational mesh domain of the surfing board

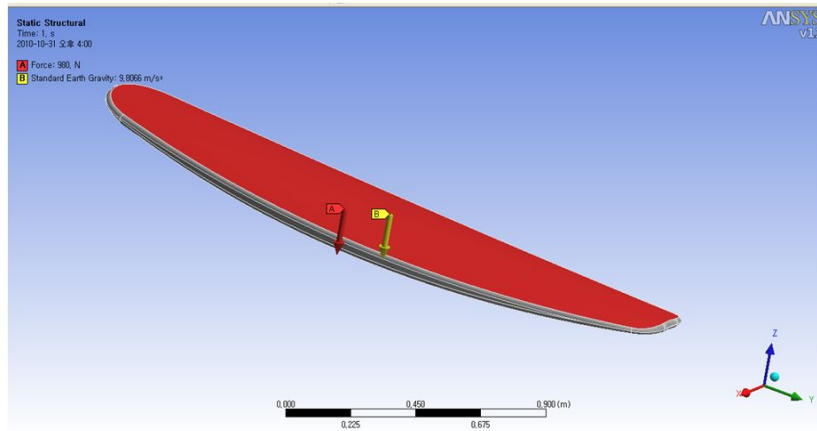


Fig. 4.3 Boundary conditions for the computational domain of the deck surface

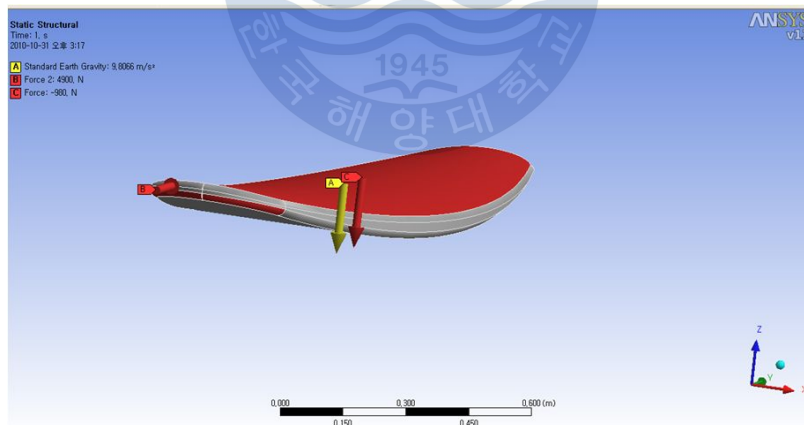


Fig. 4.4 Boundary conditions for the computational domain of the nose surface

4.2.3 결과 및 고찰

서핑보드의 보드 면에 작용하는 힘에 따른 변화를 구조적 해석을 통하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

첫째, 공학적인 안전율은 2.0이상으로 설계되며, Fig. 4.5 ~ Fig. 4.6과 같이 데크 부분의 조건을 9,800N로 부여할 경우 안전율이 2.82로 나타난다. 이는 100kg분포 면적 0.27를 같은 조건인 740N보다 높은 조건으로, 안전율이 기준치 이상임을 증명한다.

둘째, 노즈 부분의 힘이 작용할 때, Fig. 4.7 ~ Fig. 4.8과 같이 노즈 부분의 조건을 4900N로 부여할 경우 안전율이 6.36로 기준치 이상임이 증명되었다. Fig. 4.9 ~ Fig. 4.10은 데크와 노즈 부분의 안전율에 관한 구조해석 결과를 정리하였다. 이 결과로 인하여 서핑보드의 구조적 조건에 있어서 안전율이 기준치 이상임을 증명하였다.

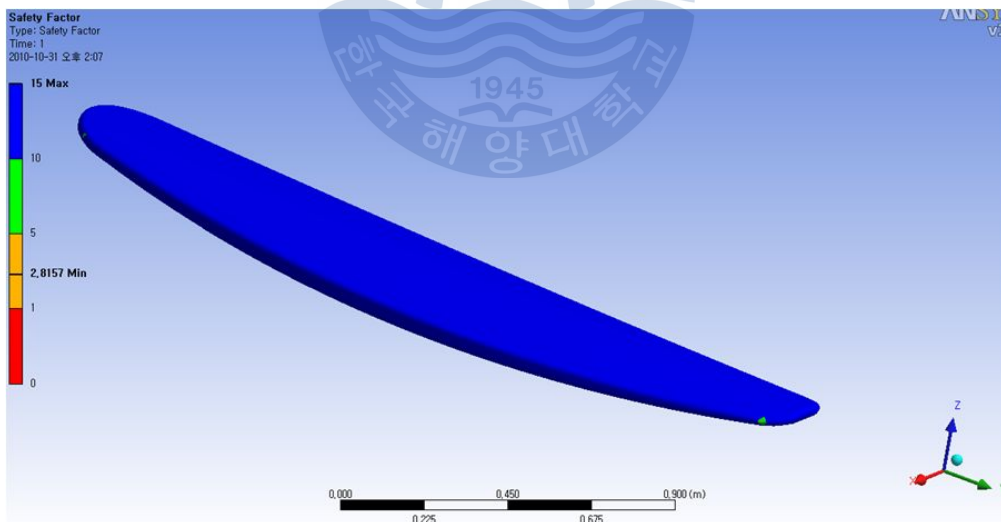
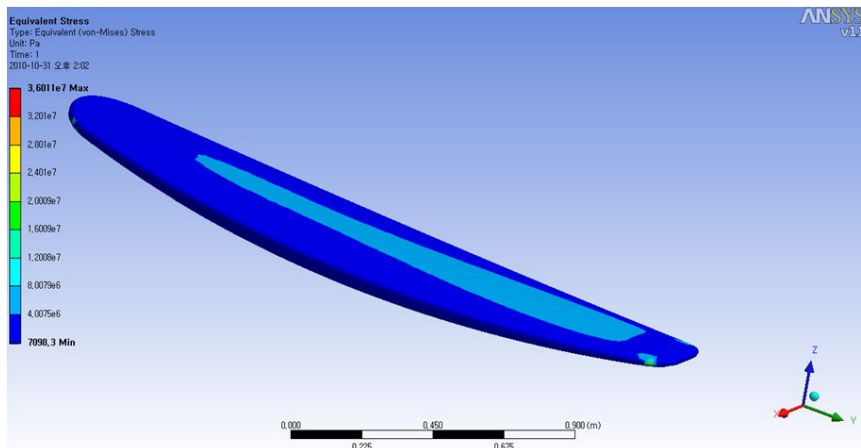


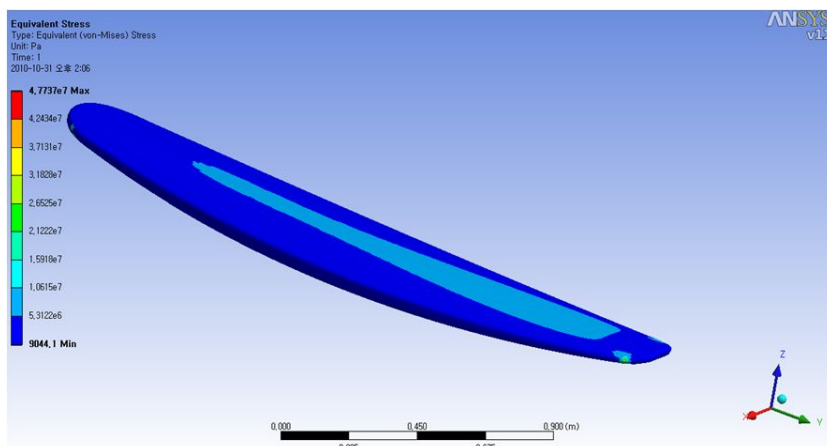
Fig. 4.5 Safety factor of the deck surface



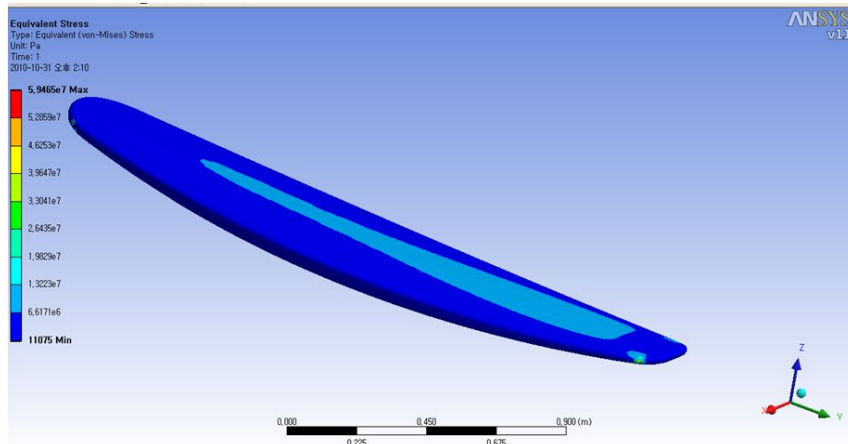
(A) Case1 (980N)



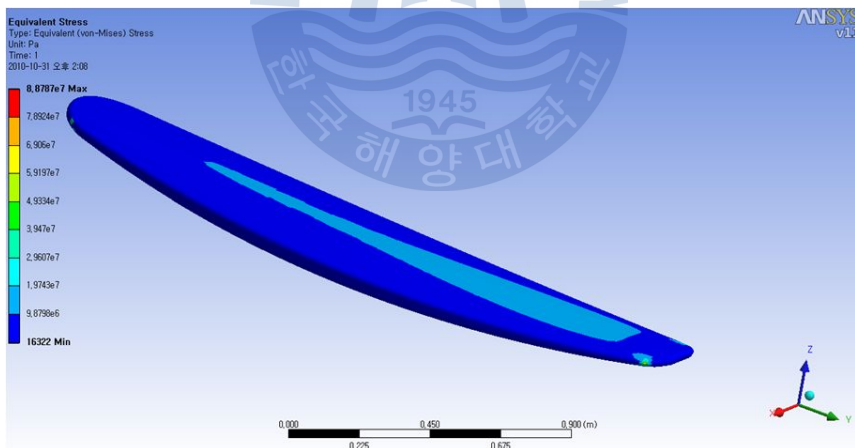
(B) Case2 (1960N)



(C) Case3 (2940N)

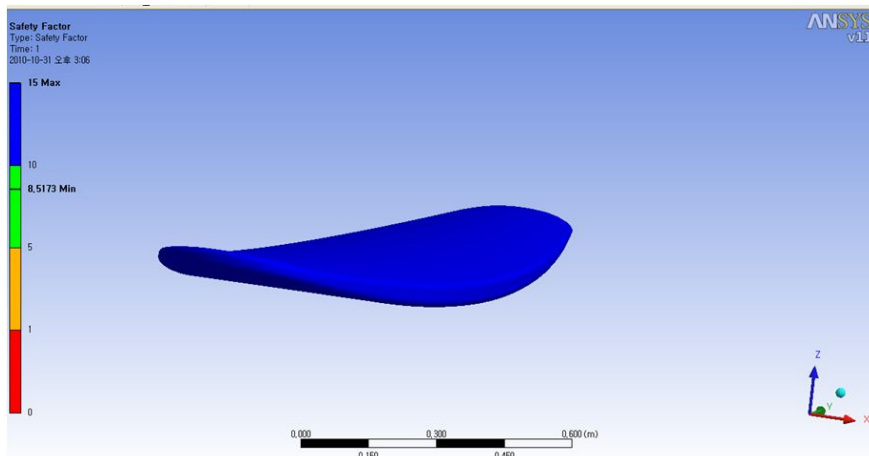


(D) Case4 (4900N)

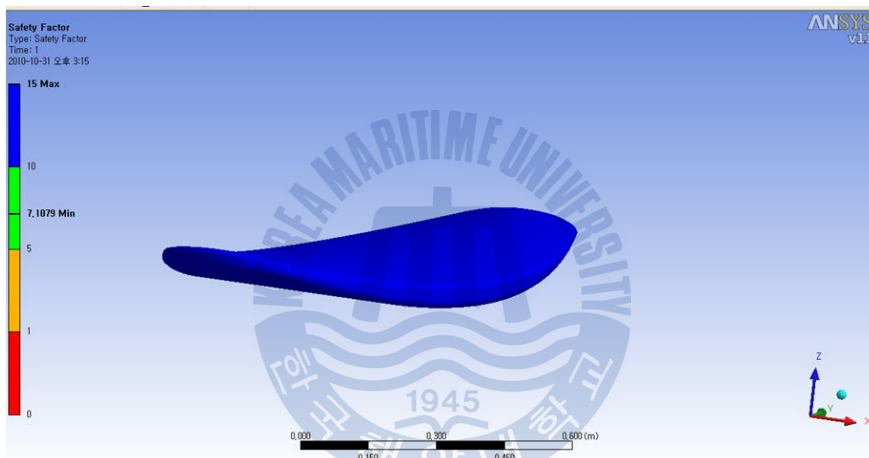


(E) Case5 (9800N)

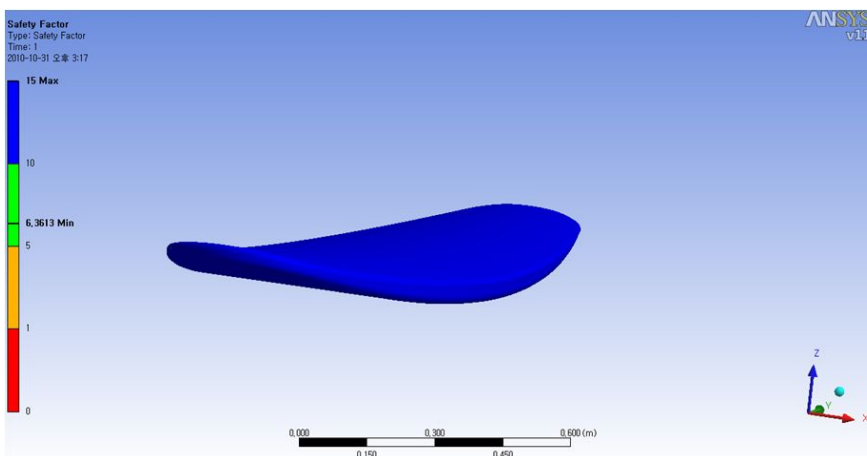
Fig. 4.6 Stress of the deck surface



(A) Case1 (980N)

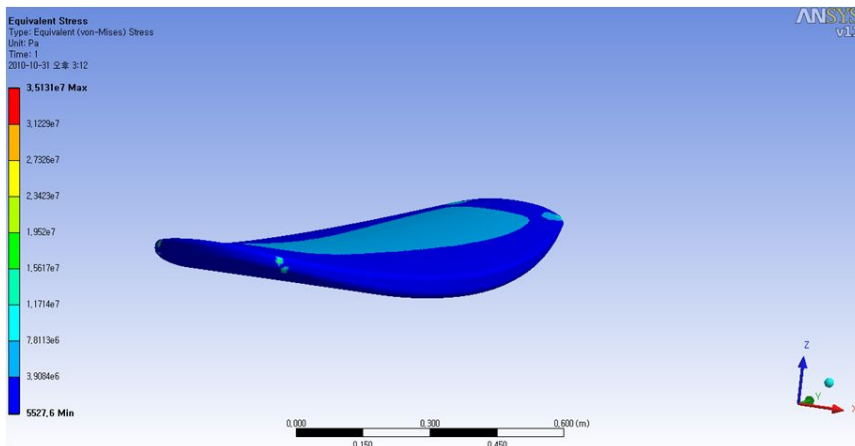


(B) Case2 (2940N)

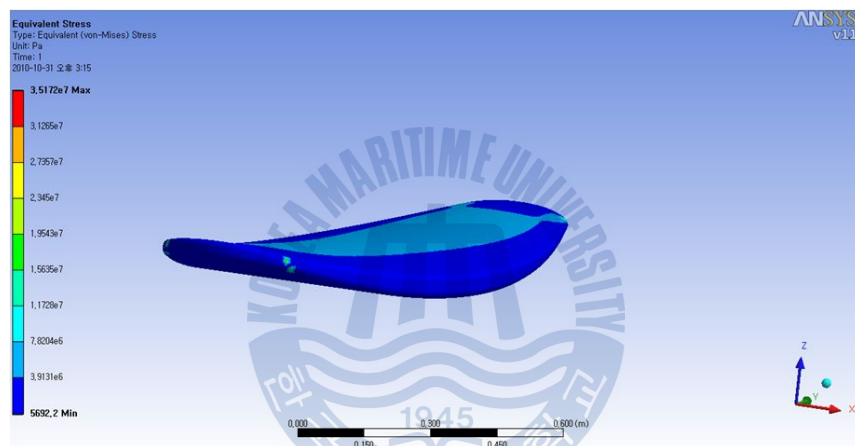


(c) Case3 (4900N)

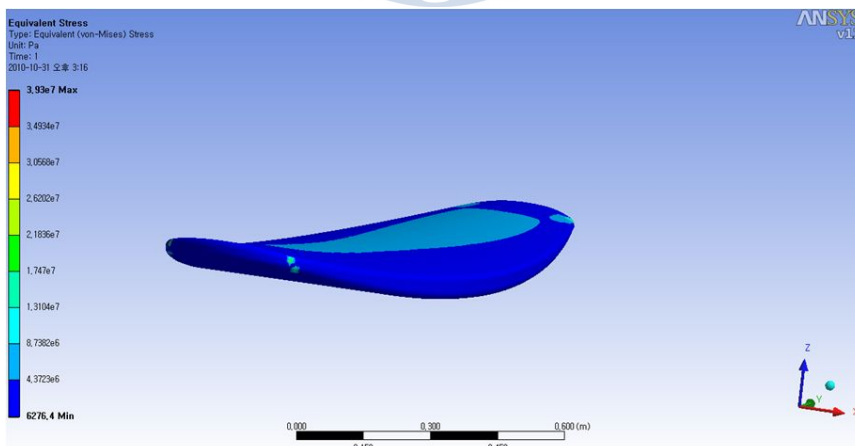
Fig. 4.7 Safety factor of the nose surface



(A) Case1 (980N)



(B) Case2 (2940N)



(C) Case2 (4900N)

Fig. 4.8 Stress of the nose surface

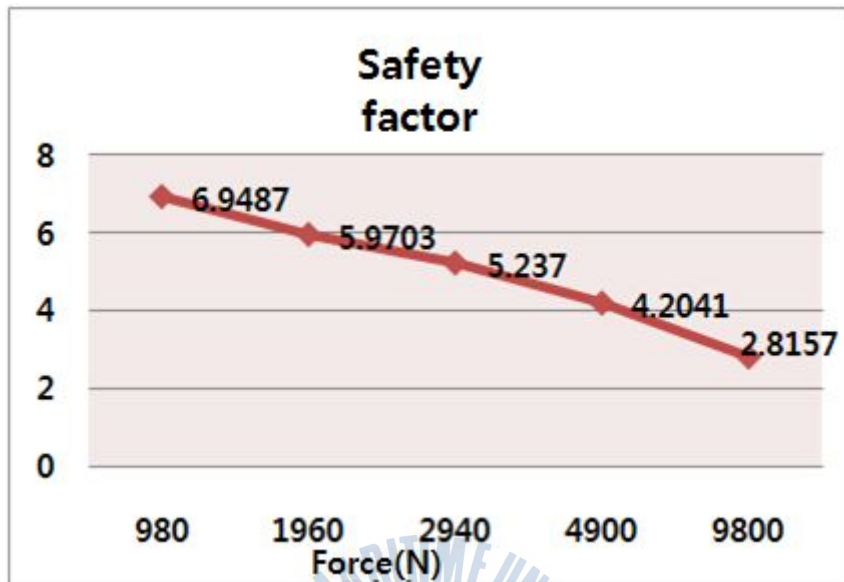


Fig. 4.9 Performance analysis of the deck safety factor

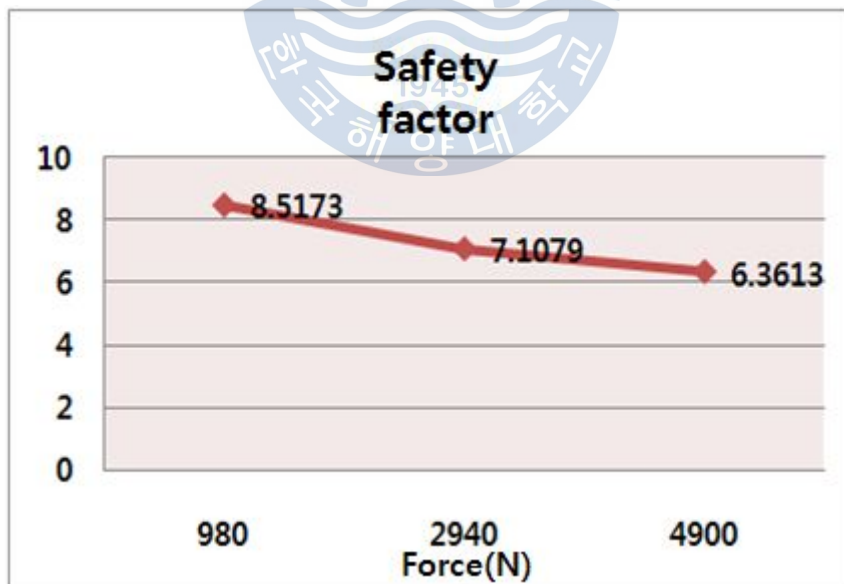


Fig. 4.10 Performance analysis of the nose safety factor

4.3 보드면의 각도에 따른 수치해석

4.3.1 해석 목적 및 격자 생성

서핑보드의 유동의 흐름은 그 경향성에 대하여 활발한 연구가 진행되지 못하는 실정이다. 서핑보드 자체가 파도라는 복합적인 유체의 입구 및 출구조건을 내포하고 있으며, 형상이 난해하기 때문이다. 본 연구에서는 서핑보드의 기본적 유체 패턴을 알아보고 그에 따른 보드의 영향을 분석하여 서핑보드의 국산화 방향에 기초가 되고자 한다.

첫째로, 2m/s의 유속을 지닌 정상상태의 유체 흐름에서 서핑보드의 기본적인 유동 패턴을 분석하였다.

둘째로, 서핑보드의 후류의 각도 변경(0° , 10° , 20°)을 통한 영향 및 유동 패턴을 분석 하였다.

셋째로, 국내 파도조건에 맞도록 속도에 따른 조건에 의하여 해석을 수행하였다. 케이스별 유속은 1m/s, 2m/s, 3m/s, 4m/s, 5m/s으로 구현하였다.

해석을 하는데 있어서 결과의 정확도를 좌우하는 부분 중 하나가 계산 격자이며, 우수한 품질의 격자를 생성하기는 쉽지가 않다. 본 연구에서는 격자를 생성하는 과정에서 복잡한 형상에 대하여 상당히 우수한 3차원 격자를 생성할 수 있는 ICEM CFD 11.1을 이용하였다. 해석결과의 정확도를 고려하여 서핑보드 주위의 격자를 집중 배치하였다. 해석에 사용된 전체 도메인의 격자수는 50만 노드이며, Fig. 4.11는 생성된 격자이다.^{[15][16]}

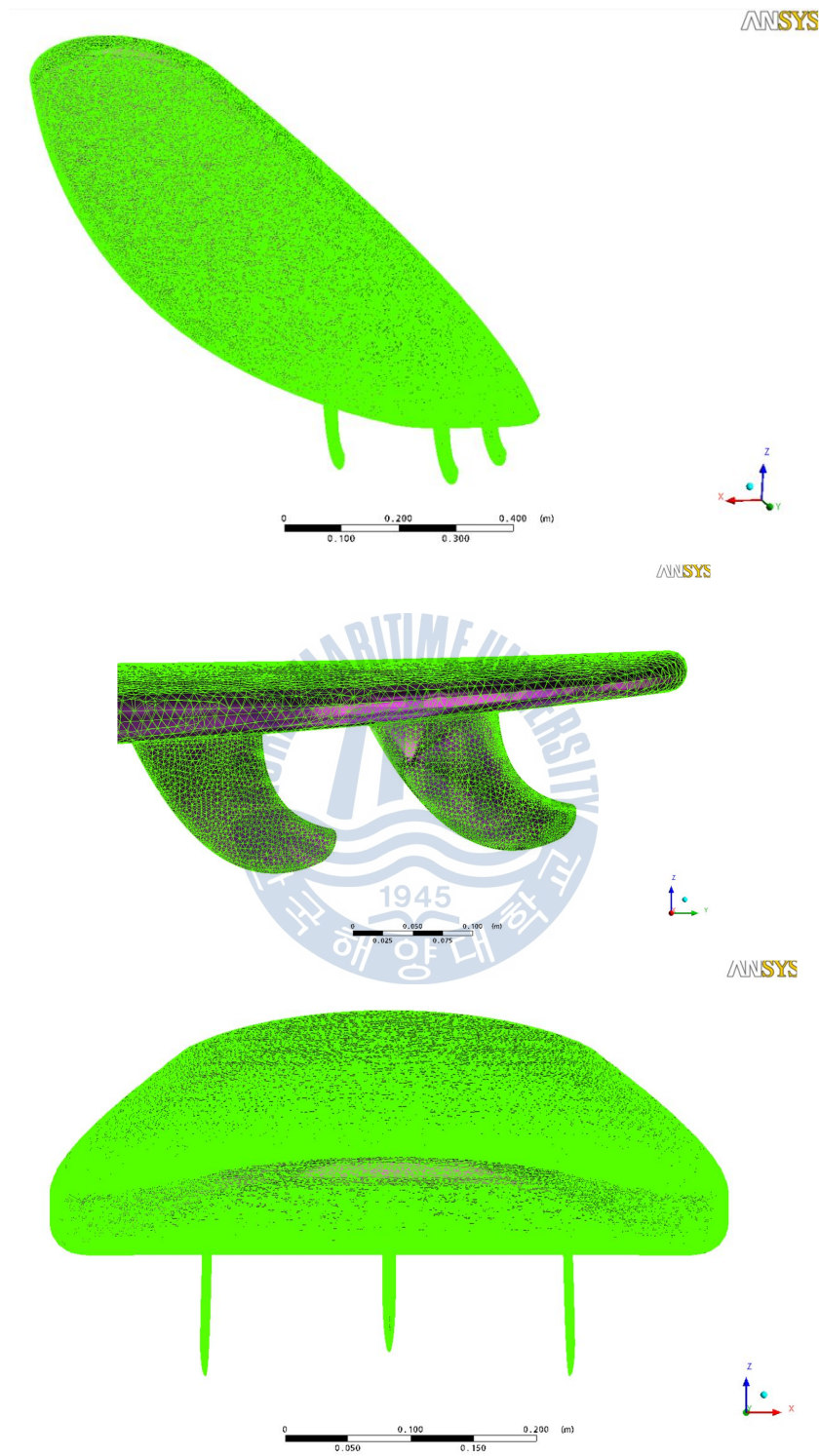


Fig. 4.11 Computational mesh domain of the surfacing board

4.3.2 경계조건 및 계산조건

계산영역 내 입구경계조건은 균일 유입조건을 주었으며, 원통형 좌표계로 정의된다. 출구경계조건은 유체가 전체 계산영역의 경계면을 빠져나가는 것으로 정의되며, 초기조건에서 동일 압력조건을 부여하였다. 터빈에는 노슬림 조건 및 회전 조건을 부여하였다.

난류모델은 벽 함수의 조합은 유체기계에서 요구 되는 높은 해석의 정밀도를 만족키는 SST모델(Shear Street Transport이하 SST모델)을 사용하여 계산을 수행하였다. 유체는 바닷물의 밀도를 고려하여 구성하였으며 $25^{\circ}C$ 유체 기본 온도로 구성하였으면 유로의 활성화를 위하여 입구 및 출구의 경계영역을 형성하였다.

경계조건은 Fig. 4.12의 그림과 같다. 계산조건은 보드의 후류부분의 각도를 0° , 10° , 20° 으로 변경하여 구성되어 있다. 또한 우리나라의 파도조건에 맞추어 파도의 속도에 따른 조건에 의하여 해석을 수행하였다.

케이스1은 유속 $1m/s$, 케이스2는 유속 $2m/s$, 케이스3은 유속 $3m/s$, 케이스4는 유속 $4m/s$, 케이스5는 유속 $5m/s$ 로 구현하였다. 그 이외의 조건은 후류 각도에 따른 해석 조건과 동일하다.

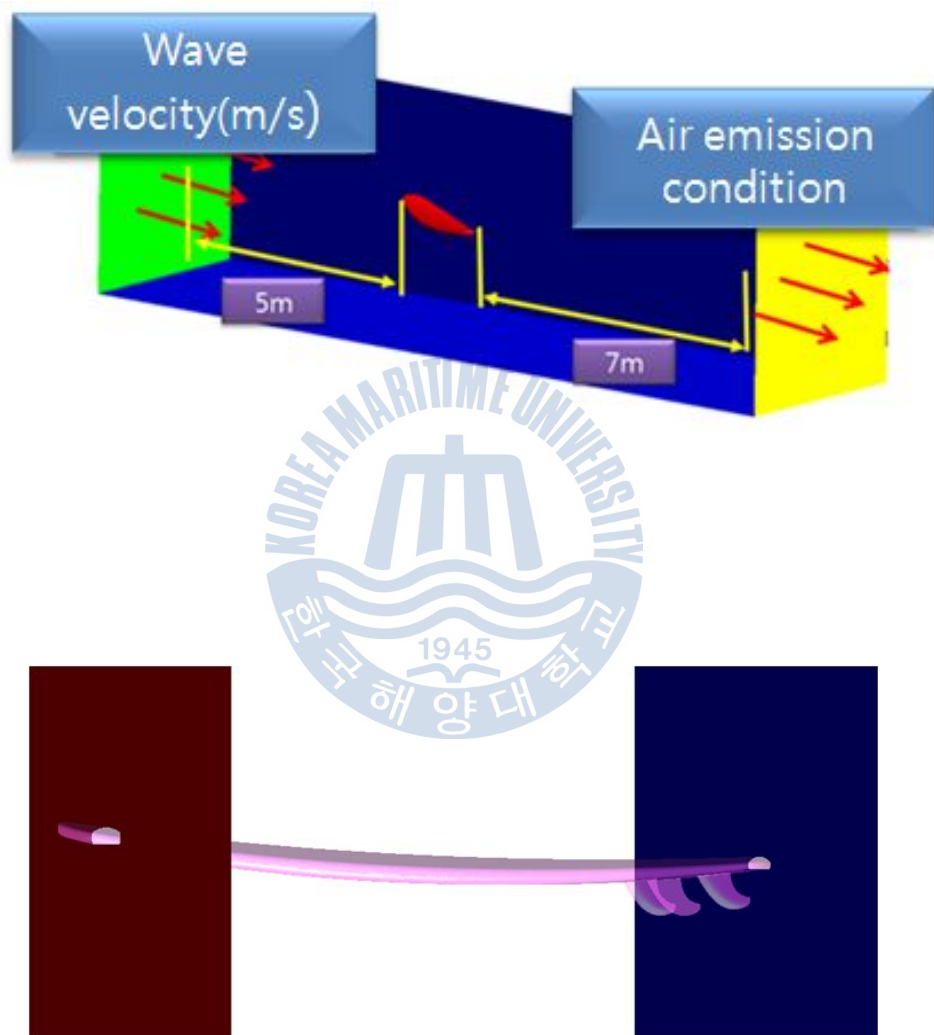


Fig. 4.12 Boundary conditions for the computational domain of the surfing board

4.3.3 결과 및 고찰

Fig. 4.13은 서핑보드 후류의 각도에 따른 유속의 경향을 알아본 결과이다. 0° 의 각도에서 20° 로 갈수록 하부 유속이 증가함을 알 수 있다. 이것은 Fig. 4.14의 압력 결과에서 확인되듯이 하부의 주위 압력에 비하여 저압의 영역이 형성되면서 유체의 속도가 증가함을 알 수 있다. 하부의 유속이 증가함은 그 영역으로 인한 보드의 속도 및 방향성을 이동 할 때 보다 빠르게 이동 할 수 있음을 의미한다. 그러나 각도 20° 의 결과가 서핑을 할 때 더 좋은 성능을 보일 수 있으나, 유속 중심부의 위치가 문제가 된다.

일반적으로 보드는 유면의 저항을 덜 받기 위하여 보드 뒷부분에 중심이 위치한다. 서퍼의 발 위치 또한 $2/3$ 의 지점에 무게 중심을 두고 위치하여 있다. 이를 감안 하여 보드의 유속중심은 $0^\circ > 10^\circ > 20^\circ$ 순으로 위치한다. 보다 정확한 결과를 위하여, 보드 입구부와 다른 유속의 영향을 고려하여 추가적인 연구가 필요하겠지만 본 연구의 경우를 통하여서도 일반적인 특성을 얻을 수 있다.

첫 번째 0° 의 경우 유속이 유입 유속 이상의 속도를 보이므로 보드의 역할을 할 수 있으며, 유속 중심부가 안정적 이므로 초보자용보드로 적합하다.

두 번째 10° 의 경우 0° 의 경우보다 유속이 빠르고 평균 입구유속의 3%이상의 유속을 보이므로 보편화된 보드에 적합하다 할 수 있겠다.

세 번째 20° 의 경우 7%를 넘는 유속 영역 및 중심부의 위치가 무게 중심과 다르고 중심부 영역이 상대적으로 좁게 나타나 상급자용 보드에 적합하다 할 수 있겠다.

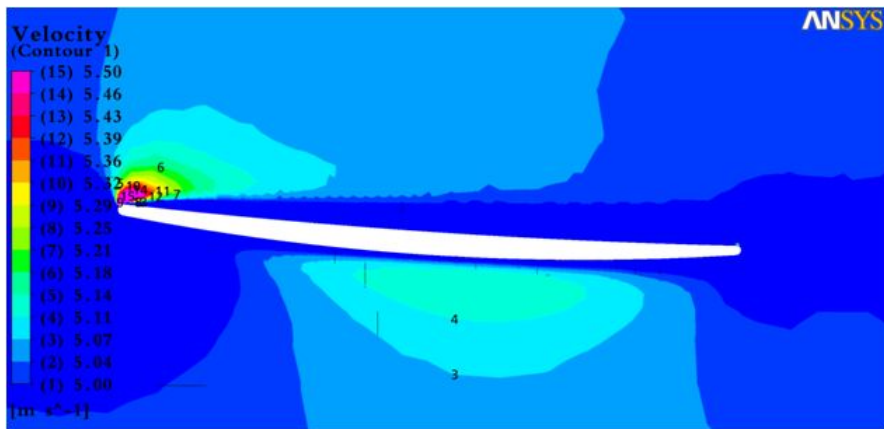
Fig. 4. 15는 각각의 유속에 따른 중심부 평단면의 유속에 의한 결과를 도출하였다. 입구부에서의 유속감소량을 계산하면 케이스1의 경우 0.5m/s , 케이스2의 경우 0.7m/s , 케이스3의 경우 1.1m/s , 케이스4의 경우 2.0m/s , 케이스2의 경우 2.9m/s 의 유속이 저하됨을 알 수 있다. 이는 입구부의 유속에 따른 저항에 의한 것으로 유속이 증가함에 따라 입구부의 유속 저하가 급격히 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 서핑보드는 고급자로 갈수록 빠른 유속에서 서핑을 하게 된다.

본 연구에서 해석한 모델의 경우 입구부의 두께는 39.9mm로 초,중급자는 1~3m/s의 유속에 맞도록 설계되어 짐을 알 수 있다. 고급자의 경우 입구부의 저항을 감소 할 수 있도록 입구부의 두께를 감소하여 저항을 최소화 시켜야 할 것이다.

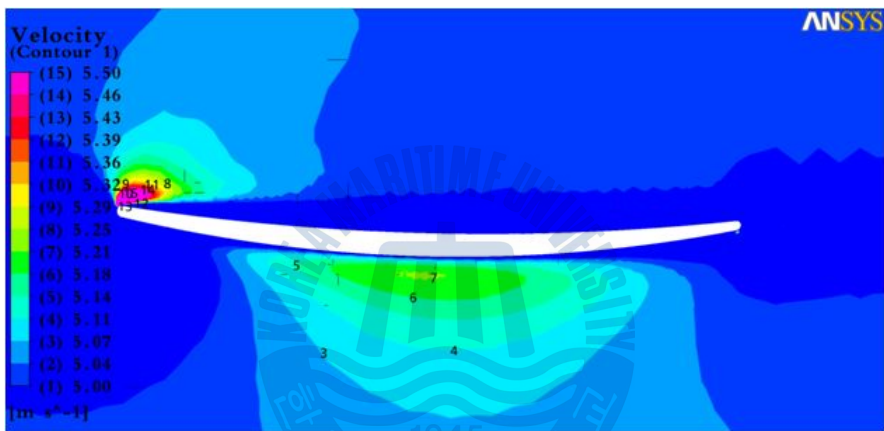
또한 핀을 유속을 변수로 하여 1~3m/s로 해석한 경우 Fig. 4.17과 같이 유속을 따른 저항에 따른 속도 감소량이 1m/s 이하 일 때 또는 유속4m/s, 5m/s의 경우 2m/s이상의 유속 감소량과 후류의 저항 면적이 급격히 증가함을 알 수 있다.

본 해석에 사용된 핀의 각도는 62.4° 으로 1~3m/s 유속에 적합하며, 유속이 3m/s이상의 경우 핀의 각도를 50° 이하로 설계하면 저항 영역을 감소시킬 수 있다.

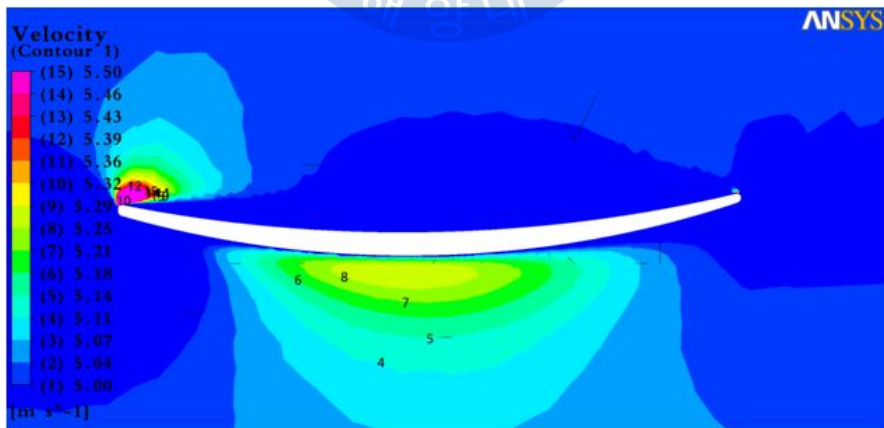




(a)Angle of the tail at 0°

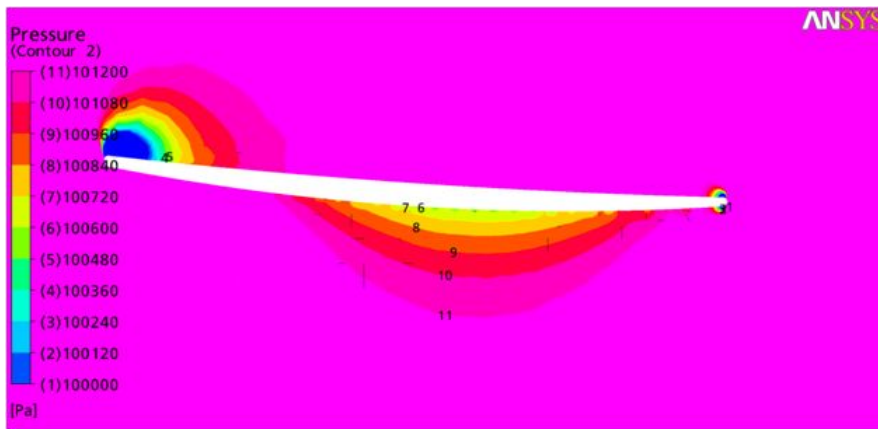


(b)Angle of the tail at 10°

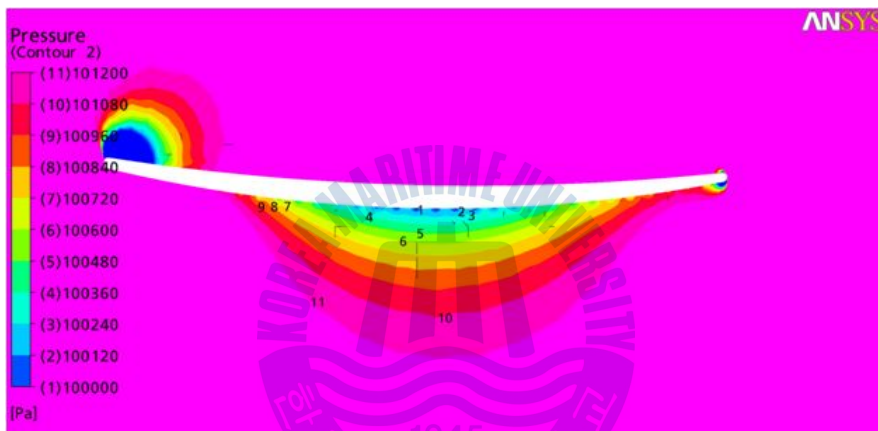


(c)Angle of the tail at 20°

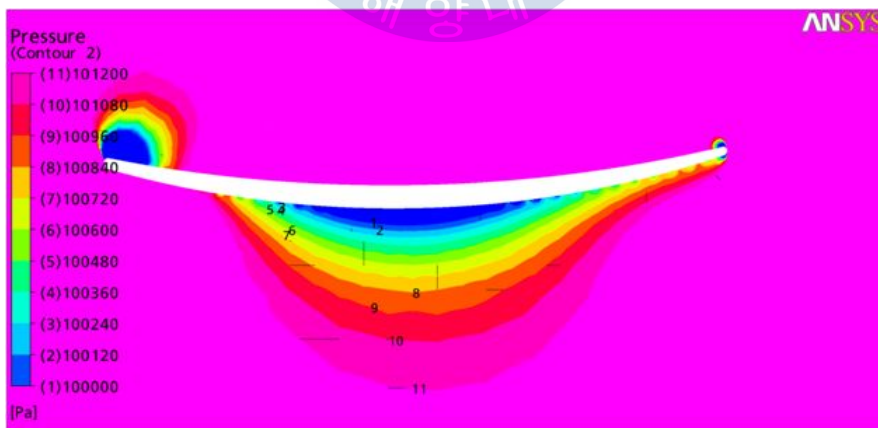
Fig. 4.13 Velocity contour of surfing board at different angles



(a) Angle of the tail at 0°

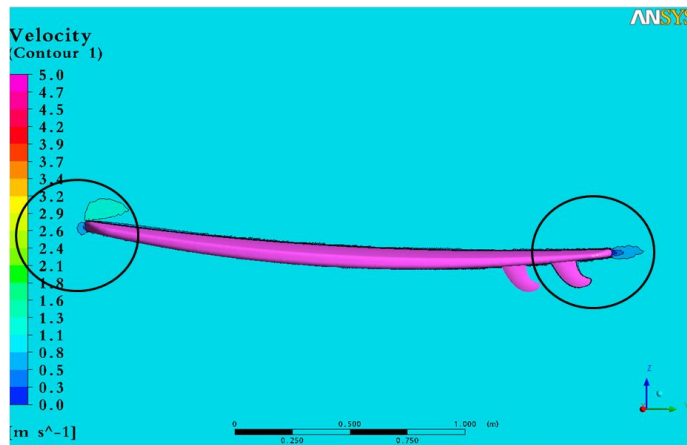


(b) Angle of the tail at 10°

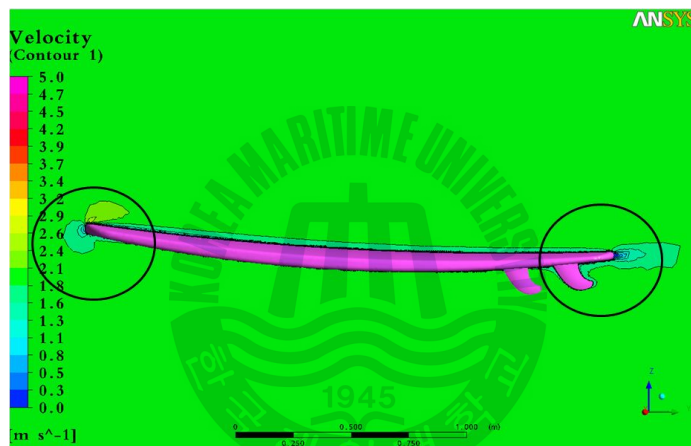


(c) Angle of the tail at 20°

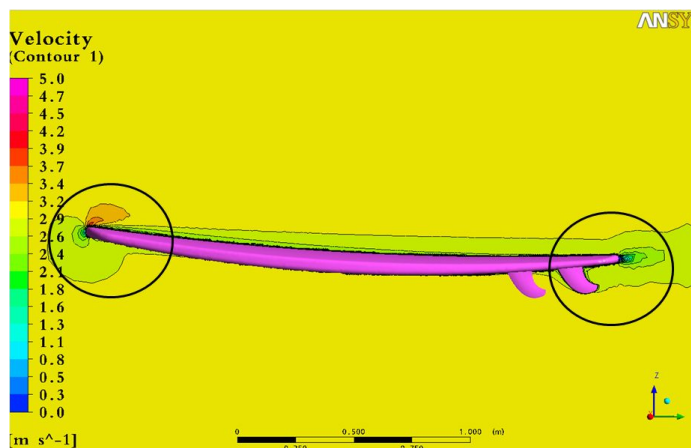
Fig. 4.14 Pressure contour of surfing board at different angles



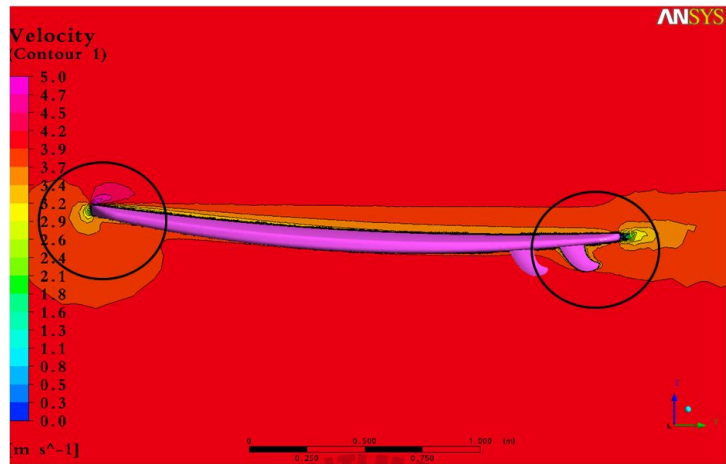
(A) Case1 (1m/s)



(B) Case2 (2m/s)



(C) Case3 (3m/s)

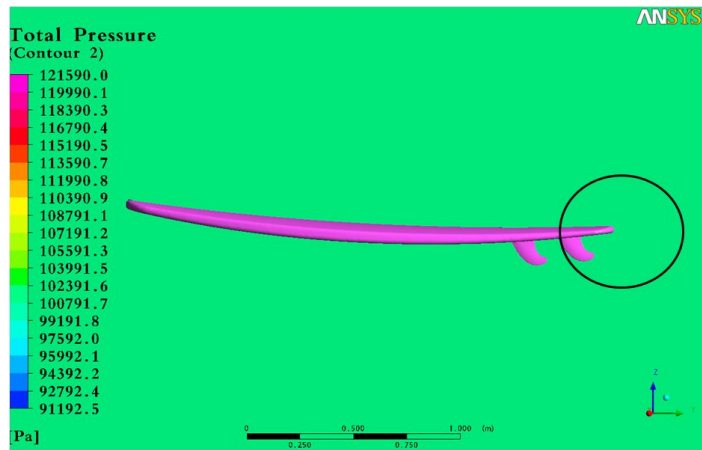


(D) Case4 (4m/s)

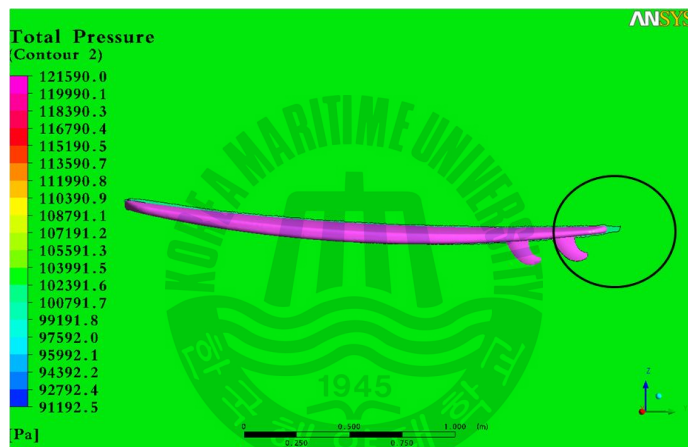


(E) Case5 (5m/s)

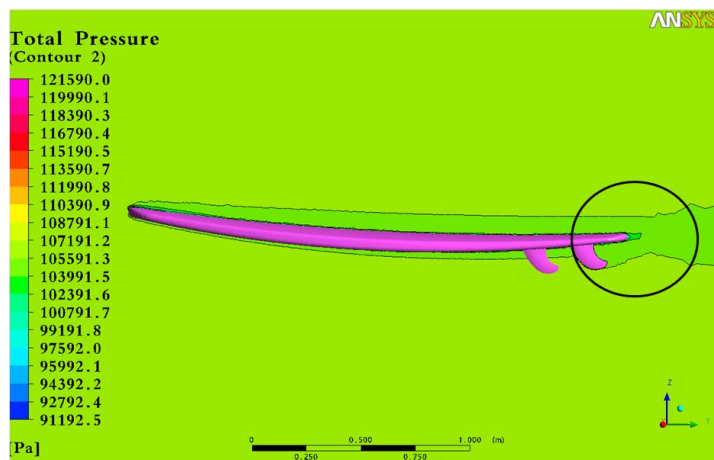
Fig. 4.15 Velocity contour distribution around the surfing board



(A) Case1 (1m/s)



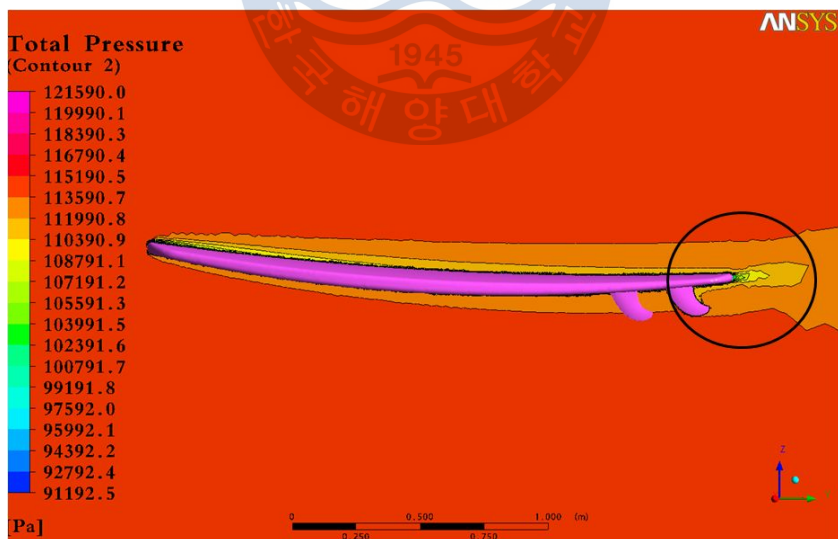
(B) Case2 (2m/s)



(C) Case3 (3m/s)

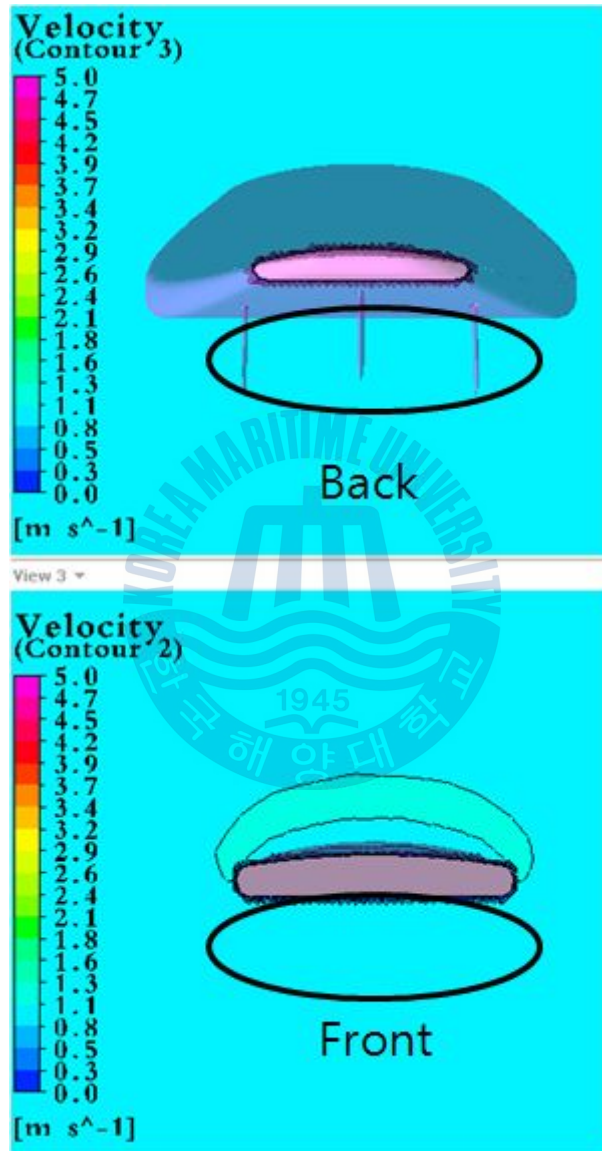


(D) Case4 (4m/s)

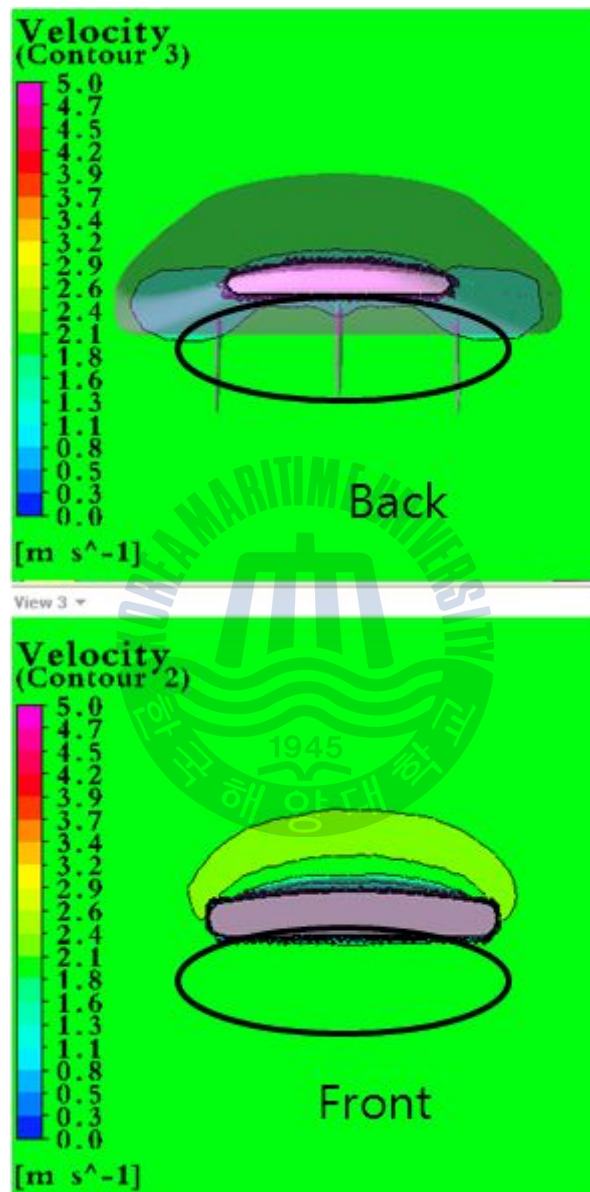


(E) Case5 (5m/s)

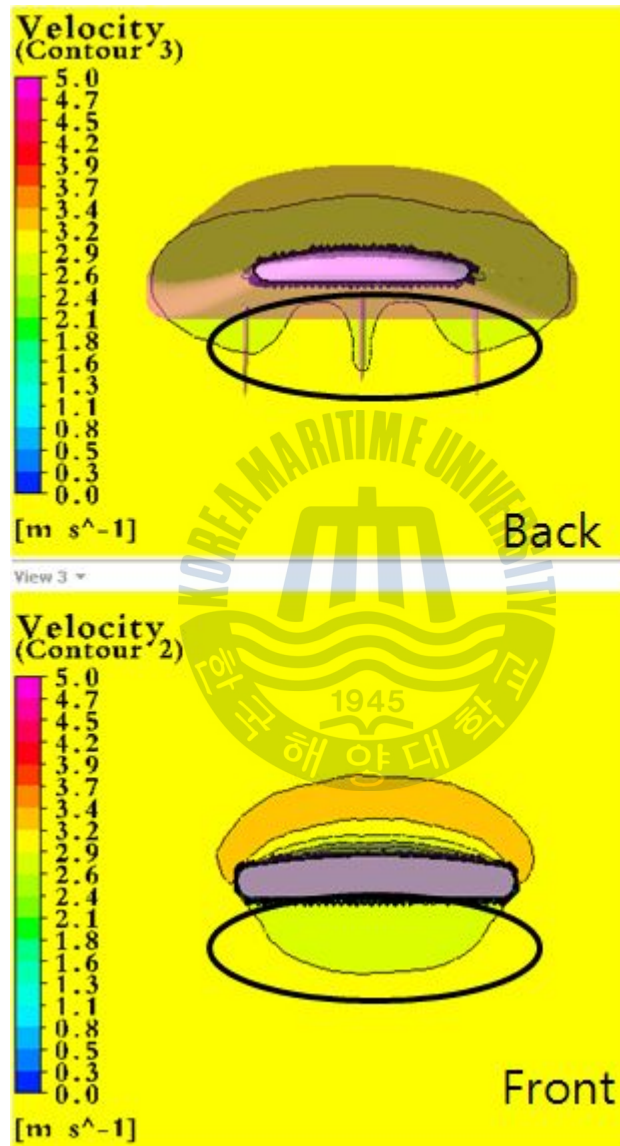
Fig. 4.16 Pressure contour distribution around the surfing board caused by drive pressure



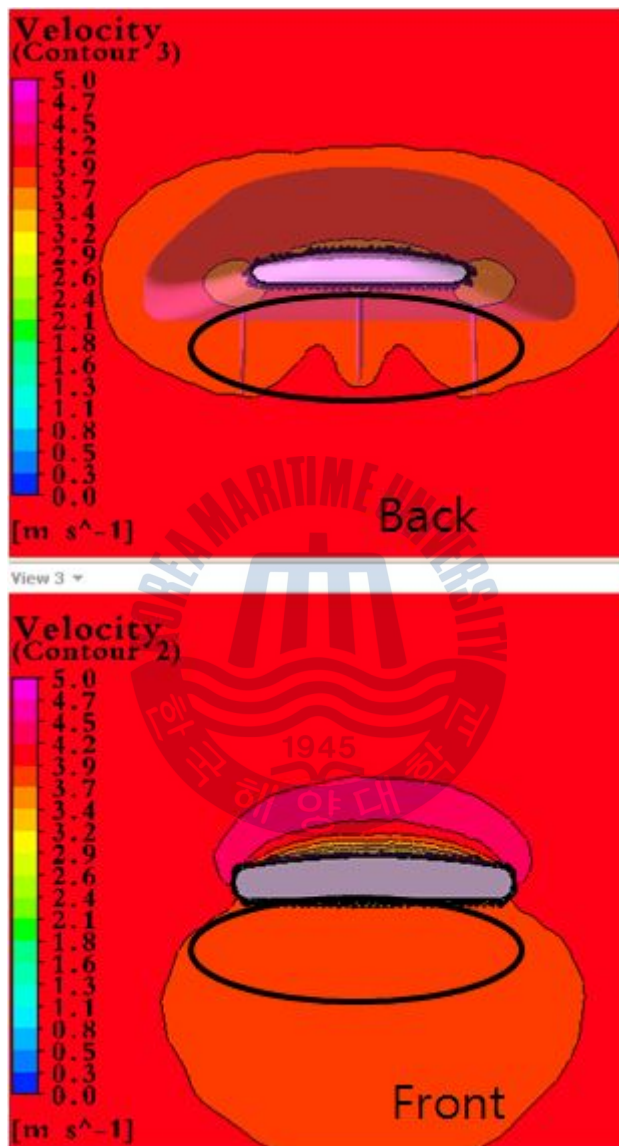
(A) Case1 (1m/s)



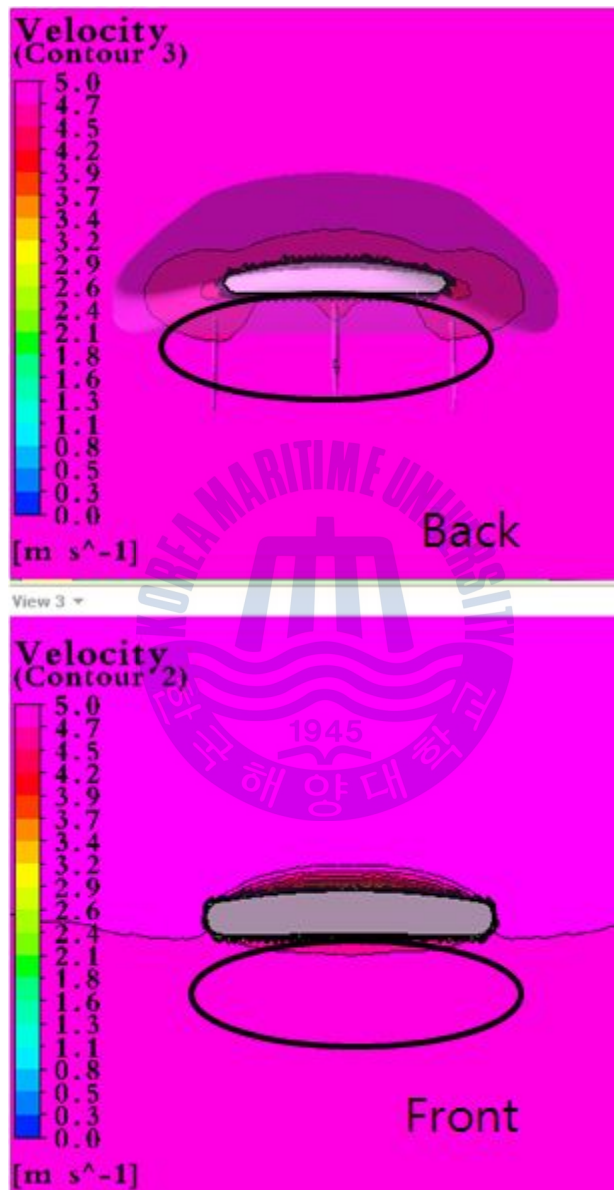
(B) Case2 (2m/s)



(C) Case3 (3m/s)



(D) Case4 (4m/s)



(E) Case5 (5m/s)

Fig. 4.17 Velocity contour distribution at the back and front of the surf board respectively

제 5 장 결론

본 연구에서는 서핑보드의 국산화 기초 연구 개발의 일환으로 개발 가능성 검증을 위하여 유니그래픽스를 이용하여 국산화 제작을 위한 서핑보드 모델링 기법을 3차원 형상화하였고, ANSYS Workbench를 이용하여 서핑보드의 데크와 노즈에 대한 안전율 및 응력에 관한 해석을 수행하였다. 또한 CFD(Computational Fluid Dynamics)를 이용하여 서핑보드의 후미 각도 및 파도 유속에 따른 성능 특성을 해석하였다. 그 결과는 다음과 같이 요약 할 수 있다.

- 1) 서핑보드는 설계 및 제작이 수작업으로 이루어졌던 방식의 단점을 해결하기 위하여 상용화된 유니그래픽스를 이용한 설계 방법을 제안한다. 유니그래픽스를 이용한 설계를 통하여 개발할 경우 향후 실제 제품 설계에 유연하게 적용할 수 있는 환경을 구축하여 설계 및 제작 시간을 단축하여 효율성을 높일 수 있다.
- 2) 데크 부분을 케이스별 안전율을 해석한 결과 공학적인 안전율 2.0이상으로 확인되었다. 최대 9800N으로 부여할 경우 안전율이 2.82로 확인되었다. 노즈 부분을 케이스별 안전율을 해석한 결과 4900N으로 힘을 부여한 결과 6.36의 높은 안전율을 확보하였다. 이 결과로 인하여 서핑보드의 구조적 조건에 있어서 안전율이 기준치 이상임을 증명하였다.
- 3) 서핑보드의 후미 각도 및 파도의 유속에 따른 해석을 수행한 결과 입구부의 두께가 39.9mm일 때 중급자는 1~3m/s의 유속에 적합하며, 고급자의 경우 두께를 감소하여 저항을 최소화 시켜야 한다. 핀의 각도에 따른 해석은 각도가 62.4° 일 때 유속이 1~3m/s가 가장 적합하며, 유속 3m/s이상일 때는 핀의 각도가 50° 이하로 설계하면 저항 영역을 감소시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] 이영진, “해양레저 관광행동 영향요인 구조 분석“, 한양대학교 대학원, 2009
- [2] 김대광, 박용범, 송길섭, “부산 해양레저 스포츠의 글로벌 비전과 정책 방향 ”, 관광레저연구, Vol.21, No.3, 2009
- [3] 김성국, “남해안시대를 대비한 해양레저 산업의 발전 전략”, 해양지니스 Vol, No.9, 2007
- [4] 이원태, “해양레저 스포츠 관광의 활성화 방안에 관한 연구”, 관동대학교, 2001.Fairplay, 2004, 5, 21.
- [5] 한국중소조선기술연구소, “우리나라 중소조선산업의 현황”, 2004
- [6] 안종현, “해양관광지 활성화 방안에 관한 연구”, 목포대학교 대학원 석사학위논문집, 2003
- [7] 안변화, 황종학, 강기원, 이상철, “수상 레저스포츠 용품산업 실태 분석”, 국민체육진흥공단 체육과학교육원, 2004.
- [8] 임장곤, 박형규, 서성부, 강병윤, “프리라이드 윈드서핑 보드 설계 및 제작에 관한 연구”, 한국해양공학회지
- [9] 임장곤, 박형규, 강병윤, 서성부, “윈드서핑 보드 설계 및 제작공법 연구”
- [10] 중소조선연구원 해양레저장비개발센터, “윈드서핑 보드 자가제작교실”

- [11] L. Larsson, R. E. Eliasson, "Principles of Yacht Design", pp. 96-131.,pp.155-163, 1994
- [12] G. Orbelian, "Essential surfing", pp.4-35, 1987
- [13] 정재현 외, “한국형 레저용 카누개발을 위한 설계 및 제작에 대한 연구”. 한국마린엔지니어링학회, 2008
- [14] 오정택, “3D CAD시스템을 이용한 적층식 카누 선형 제작에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원, 2008
- [15] Michael Paine, "Hydrodynamics of Surf boards", Sydney University, 1974
- [16] Stefan G. Llewellyn Smith, "Fluid mechanics of a surf board", SIO 87



감사의 글

인생의 새로운 공학이라는 길을 가게 되면서 제가 새로운 도전을 할 수 있을까 하는 의구심이 들었는데 이렇게 논문을 발표할 수 있어서 정말 기쁩니다.

논문이 완성되기까지 항상 지도와 조언을 아끼지 않으시고 저에게 학문의 길을 열어 주신 정재현 지도 교수님께 감사드립니다. 부족한 논문이지만 바쁘신 와중에도 세심히 다듬어주신 이영호 교수님, 정형호 교수님께도 감사드립니다. 그리고 제가 일을 하면서 석사 과정을 마칠 수 있게 배려 해주신 (주)한스 씽킹 한동명 사장님께 감사드리며, 아울러 석사 2년 과정 동안 3D CAD 및 CFD에 대한 많은 조언을 해주시며 가르침을 주신 김희중 교수님, 조영진 선배님께 깊은 감사드립니다.

그리고 항상 저를 많이 도와주신 설계가공실험실의 조현석, 최인용, 김진호, 강부중, 손미나, 유동정보연구실의 김창구, 최현준, 김문오, 이낙중, 박지훈, 김정윤, 줄라 그리고 저를 지켜봐주신 많은 친구, 선후배님들 항상 고맙고 앞으로 하는 모든 일에 좋은 일만 있길 바랍니다.

지금의 제가 있기까지 가장 큰 힘이 되어준 가족들, 저의 대학원 생활을 조용히 응원해주신 하늘에 계신 아버지, 늘 힘이 되어주신 어머니, 언제나 정신적으로 든든한 후견인이 되어 주시던 매형, 동생을 격하게 아끼는 미희누나, 사랑스러운 어린조카 아진과 항상 아버지 대신 응원해주신 작은 아버지께 감사의 말씀을 드리고 싶습니다. 항상 여러분의 응원에 지금의 제가 있는 것 같습니다.

이제 하나의 관문을 마치고 또 새로운 관문을 들어가는 이 시기에 대학원을 미치고 어떠한 관문이 제 앞에 나타나더라도 저에게 힘을 주신 분들이 있기에 이제는 그 관문을 해쳐나갈 수 있는 용기가 생겼습니다. 대학원에서 보고 배우고 느낀 것들을 디딤돌 삼아 이 세상에 보탬이 되는 존재가 될 수 있도록 최선을 다하는 지훈이가 되도록 노력하겠습니다. 모두 감사합니다.